



Universidad Pablo de Olavide

Facultad del Deporte

Departamento de Deporte e Informática

**“EFECTO DE LA HIPOTERMIA, HIPOXIA HIPOBÁRICA Y
PRIVACIÓN DE SUEÑO COMO AGENTES ESTRESORES
EN TROPAS DE OPERACIONES ESPECIALES DEL
EJÉRCITO DE CHILE”**

TESIS DOCTORAL

Autor

Mayor (OA) Claudio Nieto Jiménez

Director

Prof. Dr. José Naranjo Orellana

Sevilla, 2019



El DR. JOSÉ NARANJO ORELLANA, profesor del Programa de Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y Deporte, en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla,

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral titulada: “EFECTO DE LA HIPOTERMIA, HIPOXIA HIPOBÁRICA Y PRIVACIÓN DE SUEÑO COMO AGENTES ESTRESORES EN TROPAS DE OPERACIONES ESPECIALES DEL EJÉRCITO DE CHILE” llevada a cabo por D. Claudio Nieto Jiménez, ha sido realizada bajo mi dirección cumpliendo con los requisitos de calidad, originalidad y rigor científicos que, a mi juicio, debe de reunir.

De este modo autorizo su depósito, defensa y presentación ante el Tribunal que designe la Universidad Pablo de Olavide.

Sevilla, 29 de Noviembre de 2018

Fdo.: José Naranjo Orellana
Profesor Titular de Universidad
Doctor en Medicina y Cirugía



La DIVISIÓN DOCTRINA del EJÉRCITO DE CHILE, organismo que tiene por misión elaborar la doctrina operacional y gestionar el desarrollo de la doctrina de funcionamiento y valórica, con el propósito de proveer al Ejército de una doctrina institucional actualizada,

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral del MAYOR (OA) CLAUDIO ANDRES NIETO JIMÉNEZ, titulada: EFECTO DE LA HIPOTERMIA, HIPOXIA HIPOBÁRICA Y PRIVACIÓN DE SUEÑO COMO AGENTES ESTRESORES EN TROPAS DE OPERACIONES ESPECIALES DEL EJÉRCITO DE CHILE” fue realizada durante su permanencia en el Centro de Lecciones Aprendidas, como Jefe de la Sección Investigación para el Combate y cuenta con las autorizaciones institucionales del Ejército de Chile con fines de divulgación científica.

De este modo, se autoriza la defensa y presentación ante el tribunal designado por la Universidad Pablo de Olavide, en la ciudad de Sevilla, España en los plazos que designe la entidad académica en mención.

Santiago, Noviembre de 2018

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la de José M. Urrutia Dublé. La firma es fluida y estilizada, con una gran 'J' inicial y una 'D' final muy marcada.

JOSÉ M. URRUTIA DUBLÉ
Coronel
Comandante de la División Doctrina

*A mis padres, mi familia, al Ejército de Chile y a mi profesor guía,
Porque sin ellos, este sueño no hubiera sido posible.*

*El espíritu es tanto más fuerte cuanto mayor
Es la oposición de la que retorna a sí mismo (Hegel).*

*El camino hacia la cima es,
Como la marcha hacia uno mismo,
Una ruta en solitario. (Alessandro Gogna)*

*Hacemos cosas desagradables para que la gente corriente,
Aquí y en otros sitios,
Puedan dormir seguros en sus camas por la noche.
(Frase de "El espía que surgió del frío", John le Carré)*

AGRADECIMIENTOS

Resulta muy hermoso llegar hasta aquí y reflexionar sobre los agradecimientos después de 8 años que me han llevado estas conjeturas a buen puerto final. Una Tesis Doctoral es un proceso académico de una investigación que ha supuesto un antes y un después en mi forma de entender las ciencias de la actividad física y el deporte y especialmente, del entrenamiento físico militar en tropas especiales.

Va a ser difícil que pueda agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado en mi camino profesional y académico hasta ahora. Espero que en estas líneas quede plasmado mi más sincero agradecimiento:

A mis padres, Claudio Nieto y Mariana Jiménez. Gracias por la educación que me dieron y la que me siguen dando, sobre todo, gracias por entender que este proceso tuvo momentos en que su paciencia y ternura ayudaron a que culminara como lo hizo. El resultado de esta Tesis Doctoral, así como de mi carrera profesional y académica, no es más que el fruto de años de trabajo y sacrificio de su parte para poder darme las mejores oportunidades de crecimiento profesional.

A mi hermana y mi sobrino Martín, por apoyarme en su rol incondicional a pesar de mis ausencias y silencios muchas veces por estas investigaciones que ahora les presento.

Gracias a mi esposa Magdalena y mi hijo Cristóbal que, sin lugar a dudas, llegaron a mi vida cuando este proyecto empezaba en su fase de idea. Estuvieron en el desarrollo completo de cada hipótesis y también en los tropizos que nos vemos enfrentados los investigadores en este sendero de formación. Fueron ellos los que empujaron y cobijaron en momentos de apremio y están aquí en esta fase culmine de mis conjeturas iniciales. Por esto, los resultados de este trabajo son tan suyos como míos.

A mi director de Tesis, el Dr. José Naranjo Orellana, porque supo conducir una mente desordenada y compleja. Soy un militar atípico y en ello hay bastante de sabiduría de *Pepe* como profesor, al saber transmitirme siempre conocimientos, practicidad, sentido común y

principalmente humildad en la envergadura profesional que posee. Gracias por creer en mí y mi forma de entender estas temáticas nuevas para el Ejército de Chile, y gracias por ayudarme con consejos racionales y emocionales cuando la pendiente se puso cuesta arriba. Creíste en mi forma de entender la investigación y me orientaste hacia la dirección adecuada, dándome la libertad suficiente para poder desarrollarme como profesional bajo tus consejos. Espero, seguir apoyándote en nuestros sueños de vincular nuevos horizontes de colaboración en otras líneas de investigación donde, seguramente, podremos aportar algo más a la ciencia.

Al Ejército de Chile, por apoyarme de forma incondicional siempre y tener palabras amables hacia mí y hacia mi trabajo. A los Generales: Oscar Bustos, Raimundo Villarroel, Rodrigo Urrutia, Carlos Novoa, Miguel Alfonso, Esteban Guarda y Miguel Orriols. Coroneles: José Miguel Urrutia, Fernando Farías; Antonio Cheg. Tenientes Coroneles: Guillermo Cruz, Miguel Reyes, Cristian Jiménez. Mayores: Cristian Figueroa, Horacio Muñoz, Mario Pizani, Rodrigo Ramirez, Dr. Raimundo Rosas e Ignacio Zamora.

A los profesores civiles María Jara Lecanda, Daniela Cárdenas, Ángel Zaio, Dr. Vjera Triantafilo, Dr. Cecilia Rojas, Dr. Ignacio González, Dr. Jorge Cancino, Jose Luis Pareja, Elena Mainer y Dr. Oscar Araneda.

Al Dr. Jorge Cagigal y Dr. Claus Behn, mis dos grandes profesores formadores, quienes despertaron desde muy joven mi pasión por la fisiología de la altura en el Ejército y el amor por la montaña.

Nada de esto hubiera sido posible sin el especial apoyo de algunas unidades del Ejército de Chile, especialmente a la División Doctrina, División Educación y Comando de Educación y Doctrina. Al Comando de salud y área de instrucción física militar por las autorizaciones institucionales para el desarrollo de esta tesis doctoral y las gestiones realizadas en la asignación presupuestarias para llevar a cabo los experimentos 1, 2, 3, creando una línea de investigación sobre el comportamiento del soldado en ambientes extremos, que tienen ahora, un fundamento científico para tres agentes estresores. Al hospital militar de Santiago, Escuela de Paracaidistas y Escuela de Montaña por permitir que se investigaran temáticas

relacionadas con las tropas especiales que ahí se instruyen, estando siempre dispuestos a ayudar con los análisis y aclarar las ideas de esta tesis doctoral.

A la Universidad del Desarrollo que, desde el año 2018 creyó en mí y me integró al centro de investigación y apoyo al deporte (CIAD), especialmente a los profesores: Rodrigo Arellano y Francisca Sepúlveda.

A mis amigos y mi familia, porque saben de mis pasiones alborotadas, sin rumbo fijo a veces, han entendido aquellos momentos en los que he debido estar más distante.

A mis profesores de la Universidad Pablo de Olavide, Universidad Mayor y Universidad del desarrollo que me han transmitido información muy valiosa de sus experiencias en investigación y conocimientos específicos.

GRACIAS, DE TODO CORAZÓN.

ÍNDICE

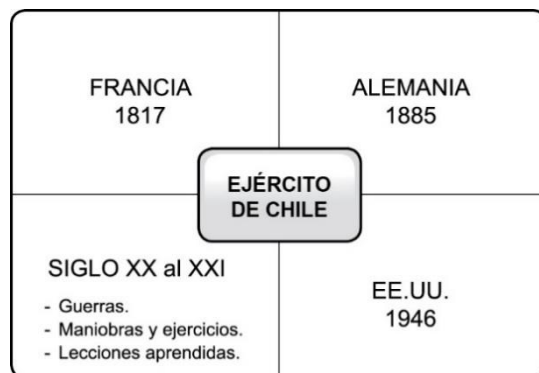
ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	19
II.	MARCO TEÓRICO	27
III.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	43
IV.	METODOLOGÍA	47
V.	RESULTADOS	61
VI.	DISCUSIÓN GENERAL DE LOS CUATRO ESTUDIOS.	115
VII.	CONCLUSIONES	129
VIII.	PERSPECTIVAS FUTURAS	135
IX.	BIBLIOGRAFÍA	139
X.	ANEXO APORTACIONES CIENTÍFICAS DE LA TESIS DOCTORAL	157

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

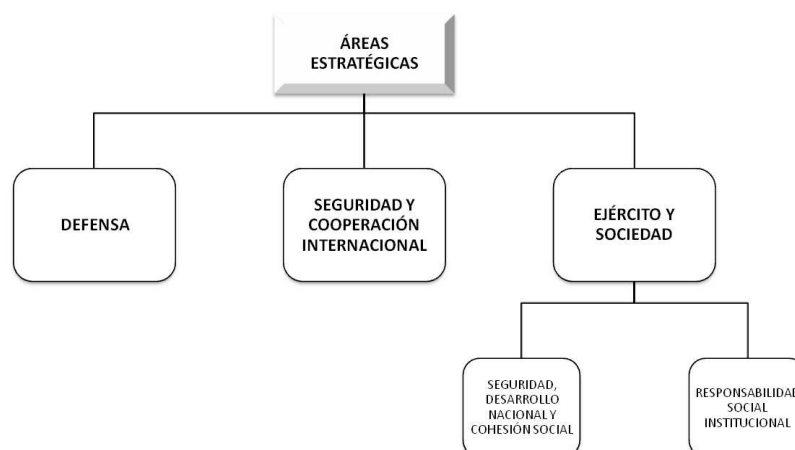
La Historia Militar de Chile nos muestra que el Ejército se ha construido sobre la base de un proceso de permanente fusión en que se han asumido formas heredadas de las distintas épocas y civilizaciones, tiene el orgullo de ser una de las instituciones permanente en los 207 años de vida republicana, durante los cuales siempre ha estado presente en todos los grandes hitos de su trayectoria, política, económica y social. (Ejército de Chile; historia del Ejército de Chile, 2018a). Con la llegada de los primeros europeos al territorio de Chile, se inició un proceso cultural centrado en la guerra, que marcó fuertemente la identidad del militar chilena y, por tanto, de la propia nación que se fue conformando bajo el alero de esta base castrense y por la fusión de dos culturas: hispana y mapuche, ambas ya definidas por sus características guerreras. El Ejército se origina a partir de la herencia recibida del Ejército español, con la creación permanente por real cédula de Felipe III en enero de 1603, al que se fue incorporando poco a poco el elemento criollo e indígena. Más adelante, a partir de 1810 y la consolidación de la independencia, el Ejército recibió influencia francesa a través de literatura militar y la participación de oficiales franceses y el envío posterior de oficiales chilenos a recibir instrucción en las escuelas de París. “El avance de las fuerzas napoleónicas, derivado de su nueva forma de hacer la guerra, determinó que los ejércitos de inicios del siglo XIX se inspiraran en ellas para adaptar sus maniobras y conseguir victorias”. (Manual Ethos del Ejército de Chile, Comando de Educación y Doctrina, División Doctrina, 2018, p.14). Pese a la victoria obtenida en la Guerra del Pacífico, surgió la necesidad de reorganizar y profesionalizar el Ejército y se miró a Alemania como la potencia militar del momento. “El influjo militar prusiano en Chile se gestó desde el análisis derivado del término de la Guerra del Pacífico, que puso en evidencia la necesidad de reorganizar el Ejército, y luego de la contratación del capitán del Ejército Imperial Emilio Körner Henze en 1885 por parte del gobierno chileno de la época.” (Manual Ethos del Ejército de Chile, 2018, p.15). Se adoptó el modelo militar alemán, el que consideró la venida a Chile de una serie de instructores y, al mismo tiempo, la especialización de oficiales chilenos en ese país. Finalmente, “el fin de la Segunda Guerra Mundial trajo consigo el afianzamiento de los Estados Unidos de América como una potencia militar de rango mundial y, a su vez, el debilitamiento de la influencia militar alemana” (Manual Ethos del Ejército de Chile, 2018, p.15). En la década de 1950, se consolidó la especialización de los integrantes del Ejército mediante el desarrollo paulatino de especialidades militares, como montaña, educación física, comandos y paracaidistas.

Figura 1

“Influencias de la doctrina operacional del Ejército de Chile”. Fuente: Reglamento (P) “El Ejército” p.25.

Actualmente, la planificación y el desarrollo institucional están abocados a su razón de ser, que es cumplir con la misión primordial que es garantizar la soberanía nacional, mantener la integridad territorial, proteger a la población, instituciones y recursos vitales del país frente a cualquier amenaza o agresión externa, así como constituir una importante herramienta de política exterior de Chile (Libro de la Defensa Nacional de Chile, 2017a). Lo anterior dice relación con la permanencia misma del Estado, lo que se vincula directamente con la función Defensa, (Libro de la Defensa Nacional de Chile, 2017a) donde al Ejército le cabe la responsabilidad, como institución especializada, de preparar, aportar y sostener una fuerza terrestre para posibilitar la defensa militar. Para el cumplimiento de sus misiones, el Ejército canaliza su quehacer hacia tres áreas estratégicas, que corresponden a los campos o espacios de acción que concretan las tareas que dan sentido a la función militar y orientan, entre otras, sus esfuerzos y recursos en metodologías de entrenamiento físico para alcanzar resultados concretos.

Para efectos de esta tesis doctoral centraremos nuestro análisis en el área estratégica de defensa (Figura 2) debido a que es la dimensión que tiene un mayor impacto en las técnicas y procedimientos de la condición física, lo que permitirá identificar el efecto fisiológico en el soldado en diversas tareas militares. Lo anterior permitirá el desarrollo de nuevas capacidades militares para el empleo de unidades de operaciones especiales.

Figura 2

“Áreas Estratégicas del Ejército de Chile. Fuente: Reglamento (P) “El Ejército” p.34.

1.1 ÁREA ESTRATÉGICA DE DEFENSA

Es el área donde se desarrollan las funciones que se desprenden de la misión fundamental del Ejército, relacionadas con el resguardo de la soberanía y el mantenimiento de la integridad territorial, así como proteger a la población, las instituciones y los recursos vitales del país frente a cualquier amenaza o presión externa (Ejército de Chile, áreas de misión, 2018b).

Las prioridades en esta área estratégica permiten desarrollar las capacidades para el empleo en operaciones de combate. Solamente alcanzando dichas capacidades se puede aspirar a tener un grado de disuasión aceptable, que dé las garantías necesarias para mantener la paz. (Ejército de Chile, 2018b).

Se deducen que de las capacidades fisiológicas que se requieren desarrollar, entre otras son:

- ✓ Contar con una Fuerza de despliegue rápido con capacidades polivalentes para desplegarse rápido en cualquier parte del territorio nacional.
- ✓ Desarrollar unidades con capacidades polivalentes, equipadas, entrenadas y adaptadas para escenarios de montaña (baja y alta montaña).
- ✓ Contar con algunas unidades de disponibilidad de corto plazo, gran potencia de combate y alta movilidad física y táctica.

Las unidades que cumplen dichas capacidades son, entre otras, las unidades de operaciones especiales.

1.2 UNIDADES DE OPERACIONES ESPECIALES (OEs)

En el Ejército de Chile las OEs, por la dificultad y variedad de las misiones que pueden encomendárseles, deben estar integradas con personal con un alto grado de especialización y preparación. Este tipo de unidades, son capaces de planificar y realizar acciones militares que por su naturaleza no son susceptibles o convenientes de obtener por otro tipo de fuerza. En el contexto de sus sistemas de entrenamiento consideran procesos de entrenamiento que le permitan desarrollar capacidades físicas para dar las respuestas al impacto del escenario bajo determinados agentes estresores.

Los agentes estresores más comunes en el entorno de las OEs del Ejército de Chile son la hipoxia, hipotermia, hipertermia y privación de sueño y su empleo en el campo de batalla estará determinado por características geográficas que se encuentran desde el altiplano hasta los confines australes. Por el entorno temporal que se dio el desarrollo de estas investigaciones, no será abordada la hipertermia. Esta tesis doctoral se va a centrar en el estudio de los agentes estresores hipotermia, privación de sueño e hipoxia.

La doctrina de organización y preparación de OEs en las Fuerzas Armadas tiende a ser de carácter institucional o conjunto (Ejército, Fuerza Aérea y Armada) como resultado de las amenazas convencionales o no convencionales externas o internas (guerrilla, terrorismo, insurgencia), que se enfrentan en la actualidad en diferentes escenarios lejanos o cercanos y con distintos tipos de altitudes y rigores climáticos.

Sin embargo, cuando algunos estados forman parte de alianzas militares, las tropas de OEs expedicionarias tienden a disponer de una organización de carácter conjunto-combinado y ejecutar operaciones militares especiales y convencionales como respuesta rápida y eficaz ante las amenazas externas convencionales o híbrida (Herráez, 2016). Resulta importante, entonces, que el estudio de las adaptaciones fisiológicas en militares esté asociado a tareas específicas, como aquellos que tengan que ver con el grado de disponibilidad inmediata y del adecuado alistamiento operacional.

De las tendencias de combate de otros ejércitos, Nieto y Cárcamo, (2016) analizaron el entrenamiento y la capacidad física militar y su relación con los sistemas de evaluación. Los investigadores concluyen que, el rol del entrenador militar especializado, tiene una función en lo referido a la adquisición de destrezas físicas, como asimismo incorporar unidades de aprendizaje para el desarrollo metodológico de aquellas cualidades físicas inherentes a las funciones específicas de su puesto para el combate.

1.3 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL TERRITORIO CHILENO

Las características geográficas del territorio chileno presentan un alto desarrollo longitudinal y escaso desarrollo latitudinal, se extiende mayormente desde el océano Pacífico a la cordillera de los Andes, siendo esta la cadena de montañas más larga de la tierra. Su altura media ronda los 4000 m y forma parte de los territorios de Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Chile. Debido a esta configuración geográfica, las unidades del Ejército de Chile se encuentran ubicadas en un espacio físico donde, eventualmente, se podrían desarrollar las operaciones (figura 3). Este escenario geográfico presenta distintas características, que tienen incidencia directa en el adiestramiento habitual, ya que condicionan la maniobra su estructuración y empleo de las fuerzas. Ubicación de las unidades de la Fuerza Terrestre:

Figura 3

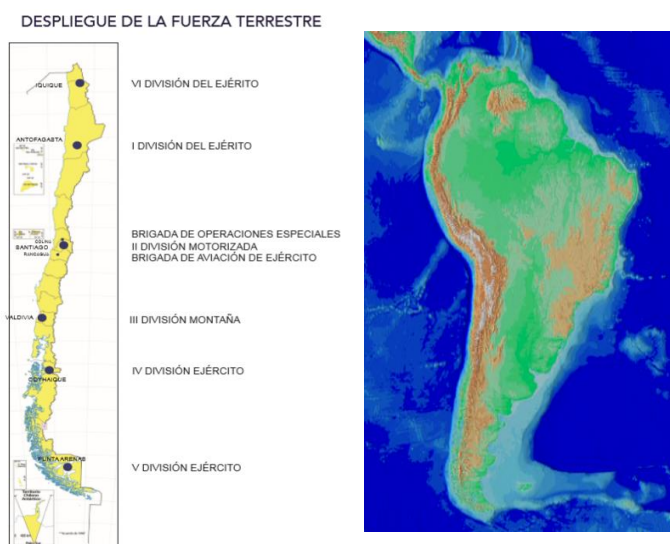
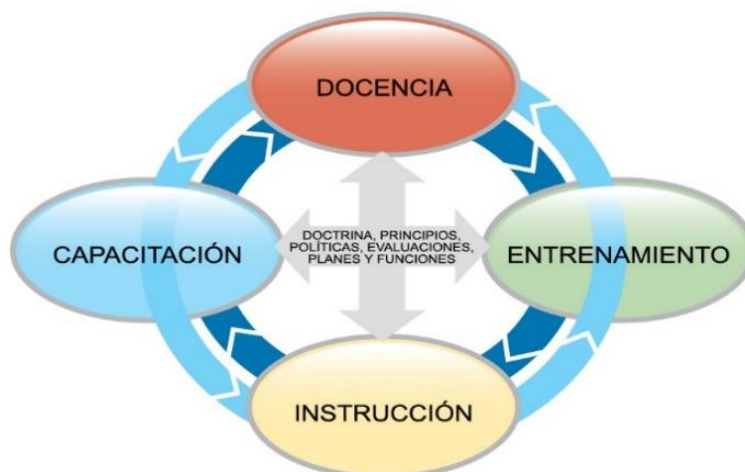


Imagen del Libro de la defensa nacional 2017b, Cap. XVIII. Representa la división territorial de la cordillera de los Andes con las 6 divisiones del Ejército, además de la BOE (Brigada de Operaciones Especiales) y BAVE (Brigada de aviación de Ejército).

El efecto de estos agentes estresores y su impacto fisiológico bajo distintas situaciones tácticas no ha sido abordado experimentalmente en OEs del Ejército de Chile. El interés de observar y describir el comportamiento fisiológico en sujetos que pertenecen a OEs radica en que su valoración y caracterización, permitirá optimizar procesos de educación militar (docencia, entrenamiento, instrucción y capacitación). Asimismo, permitirá desarrollar capacidades militares con una disponibilidad de corto plazo, potencia de combate y alta movilidad táctica, propias de una condición física específica para este tipo de ambientes extremos. El estado final deseado de estos hallazgos, será contribuir con evidencia científica en la actualización de la educación militar con doctrina de combate para OEs, sus principios y evaluaciones, como se observa en la figura 4.

Figura 4



Representa la relación de la doctrina con los procesos de educación militar: docencia, entrenamiento, instrucción y capacitación institucional. Fuente: Reglamento (P) “El Ejército” p.117.

II. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 HIPOTERMIA

Figura 5



Imágenes gentileza del “Departamento Comunicacional del Ejército de Chile.”

En la relación con la hipotermia, se caracteriza por el rápido descenso de la temperatura central por debajo de 35 °C, produciéndose trastornos cardiovasculares y respiratorios, del sistema nervioso central, coagulación, temblores y confusión (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006). Una condición de hipotermia extrema en operaciones militares, presenta bradicardia, arritmias, rigidez, acidosis respiratoria, coma y muerte con temperaturas por debajo de 28 °C (Li, Qiu, Shi, Huang y Gui, 2016; Perich, Tuchtan, Bartoli, Léonetti y Piercecchi-Marti, 2016).

En comparación a la temperatura ambiental, el agua fría reduce 25 veces más rápido la temperatura corporal, lo que provoca una rápida condición de hipotermia y parece modificar tanto las adaptaciones agudas del sistema inmune como la expresión génica del mismo, al menos en modelos animales (Hangalapura, Kaiser, van der Poel, Parmentier y Lamont, 2006).

Por otra parte, la inmersión en agua fría acompañada por periodos de apnea disminuye el flujo riego sanguíneo en los tejidos periféricos, ya que entre otros efectos provoca un descenso en la tasa metabólica, asimismo, se produce un notable descenso de la conducción

nerviosa lo que provoca pérdida de sensibilidad y descenso de la capacidad motriz (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006). Se ha reportado que una mayor capacidad de tolerancia al agua fría es una respuesta que se debería a un aumento en la capacidad de vasoconstricción periférica, elevación de la tasa metabólica de reposo y una composición corporal que permita evitar grandes pérdidas de calor (generando temblores musculares) la que es dependiente de una masa muscular elevada (Collins, Dore, Exton-Smith, Fox, MacDonald y Woodward, 1977; Castellani, Brenner y Rhind, 2013). Una exposición aguda a la hipotermia estimula la respuesta neuroendocrina del eje hipotálamo hipófisis adrenal, provocando una elevación del cortisol y norepinefrina, vasoconstricción periférica y aumento de la termogénesis (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006).

En atletas de invierno, específicamente en biatletas, se ha observado que a temperaturas frías pueden tener mayores niveles de daño inmune inducido por estrés de lo que se esperaría bajo temperaturas más suaves (LaVoy, McFarlin y Simpson, 2011). Sin embargo, los mismos autores señalan que el efecto del frío en este tipo de atletas que no han competido en temperaturas tan frías como las rutinarias encontradas durante los meses de invierno, podría significar que el estrés por frío podría no ser el mismo que en otras disciplinas deportivas invernales.

Así, como los efectos sobre la función inmune mediante el ejercicio moderado no son los mismos que los efectos de un ejercicio vigoroso, los efectos del ejercicio en temperaturas moderadamente frías pueden no ser los mismos que en un estado de frío extremo. (Brenner Castellani y Gabaree, 1999). Aún, no está claro qué cambios inmunológicos sufren los atletas de invierno durante el entrenamiento de rutina y la competencia en los meses de invierno, y no se ha demostrado una relación directa entre diversos tipos de infecciones y la exposición al frío. (LaVoy et al., 2011).

Con respecto a resultados que examinan la inmunidad en humanos después de la exposición pasiva al frío, se han reportado que a 23 °C de agua no se produce secreción de cortisol. Mientras que la exposición entre 0 °C a 10 °C en agua, eleva el cortisol y las catecolaminas. (Cross, Radomski, Vanhelder, Rhind y Shephard, 1996; Izawa, Kim, Akimoto, Ahn, Lee y Suzuki, 2009). También la norepinefrina parece estar involucrada en muchos de los cambios

inmunológicos observados en exposiciones pasivas con la temperatura fría. Una hora de exposición a agua a 14 °C produciría una movilización mediada por norepinefrina en aumentos de leucocitos (Jansky, Pospisilova y Honzova, 1996).

Otra consideración importante es la ropa de vestir al momento de valorar la hipotermia. La mayoría de los sujetos en los estudios de laboratorio han sido descritos que en la exposición pasiva a temperaturas frías no se visten con ropa para clima frío, pero a menudo usan ropa mínima. (LaVoy et al., 2011). La respuesta inmune en sujetos expuestos a agua fría (< 10 °C) con vestuario de invierno habitual serían necesarias para comprender mejor las respuestas inmunes relacionadas a la exposición al frío. (LaVoy et al., 2011).

Se ha reportado que, en jóvenes masculinos, a pesar de tener características físicas similares entre ellos (peso, grasa corporal, altura, IMC y grosor del pliegue cutáneo en 10 sitios), presentaron mayor o mejor resistencia con el frío. Brazaitis, Eimantas, Daniuseviciute, Mickeviciene, Steponaviciute y Skurvydas (2014), compararon las reacciones fisiológicas entre jóvenes que mostraron respuestas de enfriamiento rápido (96 min) o enfriamiento lento (170 min) a un punto establecido de 35.5 °C a la inmersión en agua fría a 14 °C. Sus resultados muestran que los jóvenes con un enfriamiento lento mostraron estimulación de algunos marcadores de inmunidad innata natural (neutrófilos) y supresión de marcadores de inmunidad específica adaptativa (cambios en linfocitos y monocitos). Por el contrario, los aumentos en las concentraciones de cortisol, epinefrina y norepinefrina, como marcadores de estrés, no difirieron entre los grupos de enfriamiento rápido o lento.

Desde la perspectiva militar, el daño por frío ha sido una enfermedad que afecta a las fuerzas desplegadas a través de la historia. Algunos ejemplos históricos incluyen pérdidas significativas dentro de las fuerzas de Aníbal y Napoleón. En el Ejército Norteamericano sus víctimas, incluyen aproximadamente 2,000 en la primera guerra mundial, 91,000 en la segunda guerra mundial y 6300 de la guerra de Corea (Hanson & Goldman, 1969). Un estudio que observó lo ocurrido en la guerra en Afganistán en un clima frío y montañoso, las tropas desplegadas norteamericanas presentaron menos lesiones causadas por el clima frío en comparación con la guerra de Corea (Hall, Evans y Pribyl, 2010). Las 19 lesiones por clima frío representan una disminución de los 6.300 casos de lesiones causadas por climas fríos

reportados en el último gran conflicto de clima frío, la guerra de Corea. Los autores concluyen que esta disminución se debió a los compromisos más cortos y dependientes del clima, la educación de los mandos en climas fríos y el mejoramiento del equipamiento y el personal adjunto.

También el Ejército Israelí estudio las lesiones por climas fríos encontrando una relación significativa entre éstas y operaciones continuas, caracterizadas por exposiciones estáticas prolongadas a un estrés ambiental relativamente alto por el frío. (Rav-Acha, Heled y Moran, 2004). Se encontró una relación significativa entre los casos de hipotermia y las actividades de entrenamiento, que se caracteriza por exposiciones relativamente cortas a un estrés por frío ambiental bajo, en ausencia de indumentaria protectora adecuada para el frío. Se descubrió que la exposición estática a un ambiente frío mientras se usa vestuario húmedo es la principal causa de ambos tipos de lesiones periféricas. El estudio concluye, que la prevención de la hipotermia requiere una mayor conciencia en la doctrina militar con respecto al comportamiento en climas fríos, especialmente la importancia de cambiar la ropa mojada durante los períodos estáticos del programa de entrenamiento.

Hasta donde sabemos, la bibliografía reporta hallazgos en climas fríos en poblaciones militares y se ha observado el impacto endocrino e inmunológico en atletas, como, asimismo, en exposiciones estáticas en agua fría. Sin embargo, la valoración de la hipotermia con exposiciones agudas inducidas, sin vestuario, estáticas, inferiores a 10 °C, midiendo el impacto endocrino, inmunológico, hematológico y antropométrico en militares masculinos no ha sido descrita. Aprovechando que en los cursos de OEs del Ejército de Chile se realiza sistemáticamente una prueba de selección que consiste en inmersiones estáticas en agua fría a 9 °C, sin vestuario y hasta el límite volitivo del candidato. Nos interesó esta característica, para plantear el experimento sobre hipotermia que se presentará en el estudio número 01, con la finalidad de aportar información directa sobre los cambios endocrinos, inmunológicos, hematológicos y antropométricos que ocurren en los procesos docentes de adiestramiento en soldados de OEs.

2.2 HIPOXIA

Figura 6



Imágenes gentileza de la “Escuela de Montaña del Ejército de Chile”

Actualmente se define hipoxia como: “La disminución de la presión parcial del oxígeno en sangre arterial (PaO_2), que produce una alteración en la homeostasis entre la oferta y demanda de oxígeno, generando una respuesta en el organismo” (Conkin, 2011). Para que se produzca una respuesta fisiológica ante una condición de hipoxia, necesariamente la Saturación de oxígeno (SaO_2) debe disminuir a valores inferiores a 92% (Botella de Maglia & Compte Torrero, 2005; Urdampilleta, 2016).

Considerando que la presión parcial del oxígeno (PO_2) es el producto entre la presión barométrica y el porcentaje o fracción de oxígeno en el aire inspirado (FiO_2), las causas por las que la PO_2 puede disminuir son: i) la disminución en la presión atmosférica, (propio del ascenso a regiones geográficas de altitud), manteniendo constante FiO_2 (20.93%), lo que se conoce como hipoxia hipobárica. ii) por disminución en el porcentaje de oxígeno, lo que se denomina hipoxia normobárica (Cajigal, 2017).

De acuerdo al tiempo de duración de la permanencia en exposición a la hipoxia, ésta se puede dividir en: i) hipoxia aguda (menor a 3-4 días), ii) hipoxia crónica (entre 5-21 días), iii) hipoxia intermitente (alternando periodos de hipoxia con normoxia) (Heinecke, Prommer, Cajigal, Viola, Behn y Schmidt 2003; Prommer, Ehrmann, Schmidt, Steinacker, Radermacher y Muth, 2007).

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE ALTURA

Bärtsch y colaboradores presentaron una clasificación (tabla 1) para el fútbol con un enfoque orientado hacia el rendimiento deportivo (Bärtsch, Saltin y Dvorak, 2008) y recomendado como criterio por parte del Comité Olímpico Internacional para atletas de alto nivel (Bergeron, et al., 2012).

Tabla 1:

Clasificación de altitud por cambios en el rendimiento aeróbico (Bärtsch et al., 2008; Bergeron et al., 2012).

Cerca de nivel del mar: < 500 m	Sin efectos sobre el rendimiento aeróbico
Baja altitud: 500-2000 m	Bajo impacto sobre el rendimiento aeróbico
Altitud moderada: 2000-3000 m	Aparece el mal agudo de montaña (Luks, Swenson y Bärtsch, 2017) y es necesaria la aclimatación para el rendimiento aeróbico.
Gran altitud: 3000-5500 m	Mal agudo de montaña y aclimatación son de gran relevancia clínica. Rendimiento aeróbico fuertemente disminuido.
Altitud extrema: >5500 m	Exposición prolongada que desencadena un deterioro progresivo.

En la tabla 1 se muestra una clasificación de la altitud de acuerdo a la cual, existen trabajos que abordan el impacto de la hipoxia sobre la respuesta hormonal con resultados diferentes. Para el cortisol, la literatura reporta hallazgos contradictorios. Mientras algunos autores observan aumentos de cortisol en reposo en gran altitud (GA) (Sutton, Viol, Gray, McFadden, y Keane, 1977; Zaccaria, Rocco, Noventa, Varnier, y Opocher, 1998; Barnholt et al, 2006), otros estudios no han encontrado en reposo valores elevados de cortisol en GA (McLean, Booth, Tattersall y Few, 1989; Benso et al., 2007). Similar diferencia se encuentra en los valores de cortisol, cuando es distinto el tiempo de exposición a GA. Algunos autores han observado que mediante ascensos graduales los niveles del cortisol en reposo no cambian (Woods et al., 2012), del mismo modo que otros estudios, reportan que los sujetos expuestos rápidamente a condiciones hipóxicas, ya sea en una cámara hipóbarica o usando vehículo o helicópteros para ascender rápidamente, han aumentado el cortisol (Sutton et al, 1977; Larsen, Hansen, Olsen, Galbo y Dela, 1997; Richalet, Letournel y Souberbielle, 2010).

Parece ser que el factor que determina el comportamiento del cortisol en GA es el proceso de exposición a la altura. Cuando la exposición es aguda pareciera ser que el cortisol sube (Sutton et al., 1977; Zaccaria et al., 1998; Barnholt et al., 2006; Richalet et al., 2010). Sin embargo, diversos estudios refieren que si los sujetos han permanecido un tiempo de aclimatación a la altitud y realizan un esfuerzo físico disminuye el cortisol (McLean et al., 1989; Wang, Tsai, Chen y Wang, 2001; Benso et al., 2007; Woods et al., 2012). Similar situación contradictoria observamos con la testosterona en altitud. Hay estudios que refieren una disminución de la testosterona en un programa de entrenamiento de escalada de montaña (Wang et al., 2001), mientras que otros autores postulan una elevación de testosterona en situaciones de exposición aguda a la altura (Gonzales, 2011). También otros autores han observado disminuciones de la testosterona después de 1 y 3 meses posteriores a expediciones sobre 7800 mts. (Okumura, Fuse, Kawauchi, Mizuno y Akashi, 2003; Benso et al., 2007).

Sobre las respuestas inducidas por el ejercicio en altitud en algunas células de la serie blanca, Klokke, Kharazmi, Galbo, Bygbjerg y Pedersen (1993) encontraron aumentos de las concentraciones de leucocitos durante condiciones hipobáricas de 20 minutos debido a una mayor concentración de linfocitos. Mientras que Niess et al., (2003) observaron un mayor aumento en neutrófilos después de un entrenamiento intervalado extensivo a una altitud de 1800 m en comparación a la misma situación a nivel del mar. Umeda, Takahashi, Danjo, Matsuzaka y Nakaji (2011), observaron diferentes cambios significativos según las distintas subpoblaciones estudiadas en neutrófilos después de realizar varios tipos de ejercicios, atribuyendo sus cambios al equilibrio entre factores externos y factores internos.

Con respecto a la serie roja en altitud algunos estudios han informado que los atletas de resistencia en comparación con los sujetos no entrenados pueden mostrar anomalías hematológicas y niveles de hemoglobina reducidos, cerca o por debajo del límite inferior del rango normal (Clement, Asmundson y Medhurst, 1977; Muza., 2007). Otros estudios han mostrado que algunas células de la serie roja se incrementan después de tres semanas de entrenamiento en biathlon (Heinicke, Heinicke, Schmidt y Wolfarth, 2004). Por su parte Hematy, Setorki, Razavi y Doudi (2014) compararon la concentración de hemoglobina, el recuento de glóbulos rojos y el VCM entre las situaciones de altitud normal (1830 m) y alta

(4000 m) y su persistencia después de regresar de las altitudes más altas. Se recolectaron muestras de sangre a diferentes tiempos y altitudes para comparar los cambios. La primera toma de muestras de sangre se realizó a una altura de 1830 m. Las muestras de sangre posteriores se realizaron 48 y 72 h después de alcanzar la altitud de 4000 m y 24, 48 y 72 h después de regresar a la altitud de 1830 m. Los resultados mostraron que estar en altitud tiene un efecto significativo en las variables estudiadas.

2.2.2 OPERACIONES MILITARES EN ALTITUD.

Las tropas que cumplen misiones en altitud están organizadas, equipadas y entrenadas para la vida y el combate en áreas geográficas de características de altitud moderada y GA, por tanto, en ambientes de clima riguroso. La característica de estas altitudes es que imponen un equipamiento especial, un alto nivel de entrenamiento específico y una adecuada preparación técnica, táctica, física y moral de todo su personal. La preparación de soldados para el combate en GA y la probabilidad de que los futuros despliegues puedan ser impredecibles y, por tanto, con poco tiempo de preparación dependerá, entre otros factores, de la aclimatación fisiológica en el menor tiempo posible. Estas condiciones de altitud ejercen un impacto adicional al estrés de las operaciones militares.

En poblaciones militares chinas, He et al., (2015) investigaron el efecto de la hipoxia a GA sobre los niveles séricos de hormonas reproductivas en adultos varones. Estuvieron expuestos a la hipoxia a 5380 m durante 12 meses cuando se sometieron a su adiestramiento militar. Después de la exposición, fueron seguidos durante 6 meses. Las muestras de sangre periférica se recogieron al mes antes de la exposición, 6 meses de exposición, 12 meses de exposición y 6 meses después de la exposición. El estudio tuvo la particularidad de que la altitud promedio del área en la que vivían los soldados era de 1400 m, mientras que la altitud promedio de la guarnición era de 5380 m. El autor concluye que la exposición intermitente en altitudes de 5300 m durante 6 meses, disminuye inicialmente la testosterona y luego aumenta gradualmente sus valores después de la exposición en hipoxia a GA.

También el Ejército Británico abordó estas temáticas de adaptación a la altitud simultáneamente con estrategias de entrenamiento, obteniendo información sobre

aclimatación fisiológica en el menor tiempo posible y simultáneamente diseñar planificaciones de entrenamiento físico militar para desarrollarlos a la intensidad adecuada (Heil & Keenan, 2014).

Por su parte, en el Ejército norteamericano Muza (2011) revisó los resultados de 25 estudios sobre exposiciones intermitentes diarias, concluye que se requiere exposición a altitudes de al menos 4000 metros sobre el nivel del mar por una duración diaria de al menos 1,5 horas repetidas durante una semana o más para tener una alta probabilidad de desarrollar aclimatación a la altitud. La eficacia de exposiciones hipoxias de menor duración (<1,5 h) a altitudes simuladas de más de 4000 m, así como el caso de exposiciones más largas (> 4 h) a altitudes moderadas (2500-3500 m) no ha sido estudiada sistemáticamente en militares. Por lo tanto, las exposiciones intermitentes diarias es un acercamiento prometedor para lograr los beneficios de la aclimatación de altitud en los soldados antes de su despliegue en regiones montañosas de GA.

Así como fue expuesto con la hipotermia, aprovecharemos de estudiar en el adiestramiento habitual en escenario invernal de soldados de OEs del Ejército de Chile, que, hasta donde sabemos, no están estudiadas: el efecto fatigante de una marcha nocturna en soldados aclimatados, cambiando bruscamente de altitud para el ascenso y el descenso. Este experimento nos interesó caracterizarlo en dos altitudes diferentes (900 m y 2800 m) para plantear los estudios sobre hipoxia que se presentarán en los estudios números 2 y 3, con la finalidad de aportar información directa sobre los cambios endocrinos, inmunológicos y en privación de sueño en soldados aclimatados.

2.3 PRIVACIÓN DE SUEÑO

El sueño es un estado natural caracterizado por la disminución de la actividad motora voluntaria y un descenso en la respuesta a estímulos con una posición corporal estereotípica. Cada ser humano cuenta con un reloj biológico interno y es el responsable de mantener el orden en los ritmos de alerta, temperatura y producción hormonal, provocando los ciclos circadianos. Un retraso en la secreción de melatonina impacta la función cognitiva, somática y neurometabólica. (Frank, 2006).

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) es la parte del sistema nervioso que se encarga de controlar aquellas funciones que son de carácter involuntario. A su vez el SNA está compuesto por dos sistemas: el simpático y el parasimpático. La actividad simpática provoca excitación cardíaca, vasoconstricción, disminución de la función gastrointestinal y constricción de esfínteres entre otros, siendo pues, la encargada de liderar todas aquellas funciones relacionadas con algún tipo de mecanismo de estrés. Por otro lado, la actividad parasimpática provoca la respuesta opuesta a la simpática, por lo que el sistema nervioso parasimpático es aquel que predomina en situaciones de relajación. Las dos ramas del SNA deben estar en continuo equilibrio, pudiéndose ver éste alterado por estados patológicos y/o anómalos tanto físicos como psíquicos (Aubert, Seps y Beckers, 2003; Cachadiña, de la Cruz Torres, y Orellana, 2012).

Vilamitjana (2015) estudió el papel restaurador del sueño sobre el SNA, que afectaría la recuperación física en las primeras 4 horas de sueño (que comprenderían el período aproximado entre las 10 p.m. y las 2 a.m.), y para que esa recuperación se diera de manera adecuada, los niveles de las hormonas anabólicas deberían haber comenzado a subir a las 6 p.m. con la caída de los niveles de cortisol. El mismo autor propone que el problema radicaría en que si hay exceso de cortisol por altos niveles de estrés (y dado que por ello el cortisol llegarían a su nivel mínimo mucho después de las 6 p.m.), los procesos de elevación de hormonas anabólicas se verían retrasados con el agravante de que, genéticamente, el momento reservado para regeneración física es el comprendido entre las 10 p.m. y las 2 a.m. Si ha llegado a esa hora, y los niveles de hormonas anabólicas no se encontrarían en su punto óptimo, los procesos regenerativos no se llevarían a cabo correctamente durante el descanso nocturno. Finalmente, Vilamitjana (2015) propone que, si esta situación se repitiera de manera crónica, el daño que sufriría durante el día no estaría pudiendo ser compensado, balanceado y regenerado durante la noche.

Desde la perspectiva militar, el entrenamiento básico de combate (EBC) es un régimen extremadamente exigente diseñado para preparar a los soldados física y mentalmente para el combate. Un componente de EBC es el ambiente de sueño, Crowley et al., (2012) observaron que algunos aspectos de la programación del sueño durante EBC están diseñados para desafiar a los soldados y que un sueño inadecuado durante el EBC podría aumentar la incidencia de

lesiones y de estrés físico y mental, pudiendo perjudicar la capacidad de aprender habilidades complejas.

En las tropas desplegadas en Irak y Afganistán las experiencias de combate y no combate, así como la exposición a entornos hostiles por las condiciones de vida, contribuyeron a las demandas físicas y psicosociales del despliegue. (Mysliwiec, McGraw, Pierce, Smith, Trapp y Roth, 2013). Entre ellas, las alteraciones del sueño aumentaron en frecuencia y se diagnosticaron comúnmente durante el despliegue y cuando regresaban del despliegue (Peterson, Goodie, Satterfield y Brim, 2008; Luxton, Greenburg, Ryan, Niven, Wheeler y Mysliwiec, 2011).

El efecto combinado de frío con privación de sueño en unidades de OEs norteamericanas fue estudiado por Young et al., (1998), vistiendo solo calzoncillos y calcetines se sentaron en silencio durante 4 horas de exposición al aire frío (10°C) y posteriormente completaron 61 días de intenso entrenamiento militar (gasto de energía, 4.150 kcal / día, consumo de energía, 3.300 kcal/día, sueño, 4h/día). Una vez concluido el riguroso entrenamiento fueron nuevamente expuestos al aire frío en una primera recuperación corta (48 h) y larga (109 días).

El estudio concluye que la fatiga crónica y la pérdida del sueño, redujeron el aislamiento tisular y la producción de calor metabólico. En la misma línea que Young et al (1998), el efecto combinado de varios agentes estresores fue revisado en combatientes de élite del Ejército británico por O'Hara, Henry, Serres, Russell y Locke (2014), los que identificaron los factores de estrés ocupacional en el desempeño físico durante diferentes misiones. La revisión concluye que el balance energético negativo, el gasto energético elevado, la privación del sueño, los ambientes extremos y el transporte de carga pesada asociados con un entrenamiento riguroso en operaciones sostenidas afecta negativamente los niveles hormonales, masa muscular y rendimiento físico en combatientes de élite británica.

El desempeño cognitivo también fue medido en privación de sueño y valorado en el comportamiento de liderazgo en oficiales navales noruegos. Olsen, Pallesen y Espevik (2016) compararon el comportamiento en condiciones de descanso y privación de sueño durante un ejercicio de supervivencia de combate de 14 días. Realizaron un diseño que

constaba de dos ejercicios de combate, de aproximadamente 1,5 h cada uno, llevados a cabo en un simulador de navegación de una tripulación. En condiciones de privación de sueño, los oficiales durmieron poco durante 5 días (media de 2 h 30 min.). El estudio concluye que, de los test aplicados, el desempeño cognitivo aumenta de la condición descansada a condición de privación de sueño. Los mismos autores concluyeron que la privación parcial del sueño a largo plazo influyó en la habilidad de los oficiales navales para generar anticipaciones de problemas potencialmente críticos en la entrada de una operación. (Olsen et al., 2013).

Si bien la literatura ofrece estudios para definir programas de entrenamientos en atletas y militares, existen escasos estudios en militares donde se aborden sistemas de entrenamiento bajo condiciones extremas y el impacto de estas condiciones a nivel fisiológico asociadas a sus tareas militares. En una revisión de la literatura Nieto y Cárcamo (2016) revisaron los modelos de entrenamiento de ejércitos europeos y latinoamericanos abordando aspectos relacionados con la condición física militar, efectos del entrenamiento militar y sus sistemas de evaluación y certificación. Los autores concluyen que la medición de los programas de entrenamiento debe ser en función de tareas militares con distintas misiones y escenarios geográficos. En ese contexto, resultaría interesante preguntarse si vale la pena considerar si algunas de las rutinas de sueño de entrenamiento militar proporcionan una preparación óptima para el combate.

Hasta donde sabemos, no hay ningún estudio que analice los efectos de la privación de sueño desde el punto de vista del SNA (equilibrio del sistema simpático-parasimpático) con la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) (Naranjo, De La Cruz B, Sarabia, De Hoyo, Lora y Dominguez, 2015) como instrumento de medición. Y segundo, no existe un test estandarizado que permita valorar los efectos que tiene la privación de sueño sobre el desempeño físico de un soldado de OEs.

Debido al adiestramiento habitual de una unidad de OEs del Ejército de Chile, aprovecharemos de estudiar el efecto que tiene la privación de sueño de 24 h, para plantear el estudio que se presentará en el estudio número 4, con la finalidad de aportar información directa sobre los cambios en la modulación simpática-parasimpática. Asimismo, propondremos un test de valoración utilizando la VFC como instrumento de estandarización.

Este experimento nos interesó caracterizarlo con la finalidad de aportar información directa sobre el desempeño cardiovascular de un soldado cuando se encuentra privado de sueño y poder visualizar las reales capacidades físicas con el estrés catabólico de las operaciones militares prolongadas.

Finalmente, este trabajo pretende agrupar en cuatro diseños experimentales una valoración fisiológica para observar su efecto en militares chilenos de OEs. Se espera identificar el impacto endocrino, cardiovascular, hematológico e inmunológico de los agentes estresores hipotermia e hipoxia hipobárica. Asimismo, se busca aportar información directa sobre los cambios en la modulación simpática-parasimpática y proponer un test de valoración específico para el agente estresor privación de sueño, utilizando la VFC como instrumento que aporte valores descriptivos de sus diferentes variables.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Esta tesis titulada “*Efecto de la hipotermia, hipoxia hipobárica y privación de sueño como agentes estresores en tropas de operaciones especiales del Ejército de Chile*” presenta las siguientes hipótesis y objetivos:

1. Las respuestas hormonales, inmunológicas y hematológicas de los soldados son individuales según el tiempo de exposición a la hipotermia en agua fría.
2. La exposición aguda en soldados aclimatados a la hipoxia hipobárica modifica los parámetros endocrinos y hematológicos (serie blanca y serie roja) en una marcha invernal en gran altitud.
3. La exposición aguda en soldados aclimatados a la hipoxia hipobárica no incrementa la respuesta del cortisol, testosterona y de la serie roja en una marcha invernal en baja altitud.
4. La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) fluctúa en privación de sueño y aporta información diferente, existiendo soldados que responden a la carga externa realizada con mayor variación de la VFC que otros.
5. La evaluación de la VFC puede ser un método para valorar el efecto combinado del agente estresor privación de sueño en una prueba de esfuerzo en unidades de operaciones especiales en montaña del Ejército de Chile.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Valorar, identificar y comparar el impacto endocrino, cardiovascular, hematológico e inmunológico de los agentes estresores hipotermia, hipoxia hipobárica y privación de sueño en tropas de operaciones especiales del Ejército de Chile.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1 HIPOTERMIA:

- 1) Determinar los cambios en las hormonas testosterona libre, testosterona total y cortisol en una exposición aguda a hipotermia en agua fría.
- 2) Determinar los cambios en células de la serie blanca y serie roja en una exposición aguda a hipotermia en agua fría.

- 3) Relacionar la condición física con la respuesta a la exposición aguda a hipotermia en agua fría.
- 4) Relacionar la condición antropométrica con la respuesta a la exposición aguda a hipotermia en agua fría.

3.2.2 HIPOXIA HIPOBÁRICA EN GRAN ALTITUD:

- 1) Determinar los cambios en las hormonas testosterona libre, testosterona total y cortisol, en una exposición aguda a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados.
- 2) Determinar los cambios en células de la serie blanca y serie roja en una exposición aguda a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados.

3.2.3 HIPOXIA HIPOBÁRICA EN BAJA ALTITUD:

- 1) Determinar los cambios en las hormonas testosterona libre, testosterona total y cortisol, en una exposición aguda a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados.
- 2) Determinar los cambios en serie roja en una exposición a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados en baja altitud.

3.2.4 DIFERENCIAS EN LAS RESPUESTAS EN GRAN ALTITUD Y BAJA ALTITUD.

3.2.5 PRIVACIÓN DE SUEÑO:

- 1) Diferenciar la respuesta de la VFC en una prueba de esfuerzo con y sin privación de sueño en sujetos de operaciones especiales en montaña.
- 2) Proponer un Test basado en la VFC que permita evaluar el efecto de la privación de sueño en una prueba de esfuerzo submaximal en sujetos de operaciones especiales en montaña.

IV. METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

4.1 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Dada las características de esta tesis doctoral, se expone a continuación el procedimiento seguido para realizarla:

4.1.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA: en un primer lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica para conocer el estado actual de la problemática presentada. Dicha búsqueda fue realizada en las bases de datos más comunes relacionadas con la temática como: Pubmed, SportDiscuss, Scopus, Dialnet y Google Scholar. Además, fueron consultadas diversas bases de datos de estudios en ejércitos extranjeros y publicados en artículos de investigación “Públicos”. De todos los artículos encontrados, se seleccionaron aquellos que estaban incluidos en revistas pertenecientes al índice Journal of Citations Reports, así como indexación en Scopus.

4.1.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: tras establecer el objetivo e hipótesis de estudio, se realizó un diseño experimental basado en la resolución de la problemática expuesta. Posteriormente, se seleccionó una muestra del Ejército de Chile de soldados que, en su adiestramiento habitual, realizarán exposiciones a los agentes estresores descritos con el entorno adecuado para la obtención de los resultados y se realizó un análisis de materiales y medios disponibles para la consecución de los diferentes estudios. La presente investigación consta de 4 estudios diferentes: dos experimentos de exposición aguda a hipoxia hipobárica (baja y alta montaña), un experimento de exposición aguda en inmersión en agua fría en condiciones de hipotermia y finalmente un experimento piloto de marcha con equipo militar en laboratorio con y sin privación de sueño.

4.1.3. TOMA DE DATOS: los datos fueron obtenidos de forma longitudinal durante un período natural de 24 meses.

4.1.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS: A partir de los resultados obtenidos, se realizaron diversas pruebas estadísticas. Para los estudios 1,2 y 3 se realizó un estudio descriptivo presentando los datos como promedios, máximos, mínimos y desviaciones estándar. Para cada

análisis se testeó la normalidad de las distribuciones empleando el test de SHAPIRO-WILK. Para determinar si existían diferencias significativas entre el pre y post test se aplicó la prueba de t-Student pareada para las variables con distribución normal y el test de Wilcoxon para las variables que no tenían distribución normal. En todos los casos se consideró un nivel de confianza de 95% (valor $p < 0,05$).

Para el estudio 4, al ser un experimento estudio piloto para diseñar y proponer un test y dado el reducido tamaño de la muestra no cabía esperar resultados significativos con la estadística convencional de contraste de hipótesis, por lo que para analizar los cambios entre las diferentes variables se utilizó también la estadística progresiva cualitativa propuesta por Hopkins. Para ello se calculó el tamaño del efecto (TE) usando las siguientes unidades: <0.2 = trivial, $0.20-0.59$ = pequeño; $0.6-1.2$ = moderado; ≥ 1.2 = grande. Se utilizó como umbral de efecto (Mínimo Cambio Apreciable) el valor $d = 0.2$ (Hopkins, Marshall, Batterham y Hanin, 2009).

4.1.5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y APLICACIÓN PRÁCTICA: Finalmente, los resultados fueron contrastados con las hipótesis establecidas previamente y comparados con los datos obtenidos en otras investigaciones, con el objetivo de poder ser explicados y entregar una aplicación práctica a los procesos docentes del Ejército de Chile.

4.2 SUJETOS

Un total de 111 soldados, varones, participaron en este estudio (edad: 26.00 ± 3.26 años; talla 176.47 ± 6.06 cm; peso 76.21 ± 5.21 kg). Todos los soldados pertenecían a unidades de OEs y participaron voluntariamente en el curso de comandos y de instructores de montaña. Estos cursos los imparte el Ejército de Chile anualmente para formar a los futuros integrantes de unidades de OEs. Durante la recogida de datos aprovechamos de las características propias del proceso formativo de cada curso, lo que hace que el grupo estudiado fuera heterogéneo. Los criterios de selección para los estudios se excluyeron del análisis aquellos casos individuales en los que abandonaron el curso en forma voluntaria, propia de este tipo de formación al tener tasas de abandono sobre el 60%. Estos estudios siguieron los principios y

éticas registrados en la Declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013). Todos los sujetos rellenaron un consentimiento informado de participación. Todos los estudios fueron autorizados mediante consentimiento informado del Comité de ética del Hospital Militar de Santiago de Chile *CEC/N°68 con fecha 10.07.2017/HOSMIL-DIVDOC*.

4.3 PROCEDIMIENTO E INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Los datos fueron obtenidos durante un período de 24 meses naturales, durante un total de un curso de comandos (estudio 1), curso de instructor de montaña (estudios 2 y 3) y unidad de OEs en montaña (estudio 4).

4.4 ESTUDIO NÚMERO 1:

42 militares fueron expuestos a permanecer en agua fría (10,6° C), solo con vestuario interior, el tiempo de permanencia fue hasta el límite volitivo individual, desde los 50 minutos hasta los 75 min. Todos se encontraban voluntarios y fueron informados del procedimiento firmando una carta de consentimiento contando con la aprobación del comité de ética en investigación en ciencias de la salud (Comando de salud, Hospital Militar de Santiago), aprobado para investigación en ciencias de la actividad física, respetando las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013).

Se realizaron mediciones sanguíneas en tres momentos, todas a las 06:00 am. La primera medición se realizó dos días antes de la inmersión en hipotermia, la segunda medición fue en la condición de hipotermia y la tercera medición fue durante el periodo final de baja exigencia física y psicológica del curso, la cual sirvió como referencia basal.

Figura 7



“Evaluaciones de sangre antes de la prueba de hipotermia, en condición de reposo”.

Figura 8

“Mediciones de inmersión en agua fría. Las mediciones sanguíneas, frecuencia cardíaca, presión arterial y saturación de Hb fueron realizadas inmediatamente al salir de la piscina en condición de hipotermia”.

En una piscina de 25 m el tiempo de permanencia en hipotermia comenzó en el instante en que los sujetos ingresaron y se detuvo al momento de estar fuera del agua. La temperatura del agua se monitoreo utilizando un termómetro infrarrojo. (Boeringher, Alemania, 2015).

Todas las muestras fueron obtenidas por venopunción a través del sistema Venoject® y realizadas por enfermeros militares, siguiendo el procedimiento estipulado en el Manual de toma de muestras del departamento laboratorio clínico del Hospital Militar de Santiago y enviadas al laboratorio bajo cumplimiento estricto de la normativa nacional e internacional para transporte de fluidos biológicos y/o material potencialmente infeccioso.

Figura 9

“Procesamiento analítico de las mediciones que se realizó en el Lab. Core bajo la plataforma de automatización total LAB CELL (Siemens) en interface con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP”.

4.4.1 EXÁMENES

Hemograma: recolectado en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con EDTA y procesado en equipo Advia 2120, utilizando citometría de flujo, óptico-láser e impedancia.

cortisol, testosterona total, TSH, T3 y T4 libre: recolectado en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Procesados en equipo Advia Centauro XP utilizando como metodología Quimioluminiscencia.

Por último, ACTH y testosterona libre: fueron recolectados en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. ACTH fue procesada en equipo Inmulite 2000 (Siemens) utilizando como metodología Quimioluminiscencia y testosterona libre por Radio-Inmuno-Análisis (Contador gamma).

Figura 10



“Valoración de la composición corporal”

Asimismo, se valoró la temperatura timpánica (Boeringher, Alemania, 2015), presión arterial de forma manual (esfingomanómetro Blood Pressure kit, CEISO, USA, 2014), frecuencia cardíaca y saturación de Hb, (saturómetro portátil, Nonin CMS50D, USA, 2014). El peso se midió con una báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015)

Antes del inicio del adiestramiento se realizaron mediciones de condición física que consideraban pruebas de campo a través de un test máximo de flexiones de brazos en pronación en barras cilíndrica, máxima cantidad de repeticiones en abdominales en 1 minuto y test de 2.400 mts corriendo en pista atlética.

4.5 ESTUDIO NÚMERO 2:

29 Militares (edad de $25,7 \pm 4,50$ años, peso de $76,9 \pm 7,12$ kg y talla de $178 \pm 0,05$ cm) realizaron una marcha invernal nocturna en la localidad de Portillo, los Andes, Chile, con altitud inicial de 2800 m hasta los 3648 m. La temperatura fue de -3°C a -12°C . Se calculó una presión atmosférica inicial de 554 mmHg (Larsen et al.1997) a los 2800 m y se midió

una saturación arterial de oxígeno SaO₂ de 96,8% ($\pm 1,85$). El tiempo de marcha fue de 5 hrs 35 min desde el campamento base (2800 m) hasta los 3648 m y retornar al campamento base.

Todos los sujetos llevaban residiendo 12 semanas en el campamento base situado a 2800 m, con anterioridad a la realización de la marcha, por lo que se encontraban aclimatados previamente al estudio.

Figura 11



“Marcha en el sector de portillo desde los 2800m hasta los 3648 m, imágenes gentileza de la Escuela de Montaña del Ejército de Chile”.

Se obtuvieron dos muestras de sangre a la misma hora. La muestra sanguínea antes de la marcha (muestra Pre) se obtuvo a las 06:00 y posteriormente los sujetos estuvieron en el campamento base realizando planificación en aula de la ruta de marcha. El inicio de marcha fue a las 24 hrs (media noche). La muestra sanguínea posterior (muestra Post) se realizó una vez que los sujetos alcanzaron los 3648 mts y retornaron al campamento base (2800 m) a las 06:00 hrs.

Figura 12



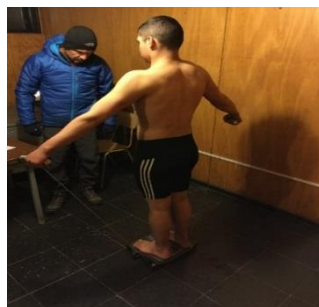
“Procesamiento analítico de muestras de sangre, se obtuvieron dos muestras de sangre, una vez justo al retornar al campamento base tras la marcha (muestra Post) y otra muestra a la misma hora del día anterior (muestra Pre)”

Para el hemograma la muestra se almacenó en BD Vacutainer con EDTA y procesó en equipo Advia 2120, mediante citometría de flujo, óptico-láser e impedancia.

Para la medición de cortisol y testosterona total: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación y se procesó en equipo Advia Centauro XP mediante Quimioluminiscencia. Para la testosterona libre: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Fue procesada en equipo Immulite 2000 (Siemens) y mediante Radio-Inmuno-Análisis (Contador gamma).

La presión arterial sistólica y diastólica se midió de forma manual mediante esfigmomanómetro (Blood Pressure kit, CEISO, USA, 2014). Se calculó la presión arterial media (PAM) a través de la fórmula: $[(\text{sistólica} - \text{diastólica})/3] + \text{diastólica}$ (Acoltzin-Vidal, Rabling-Arellanos y Marcial-Gallegos, 2010). La medición de saturación de oxígeno fue con saturómetro portátil (Nonin CMS50D, USA, 2014).

Figura 13



“Valoración de la composición corporal”.

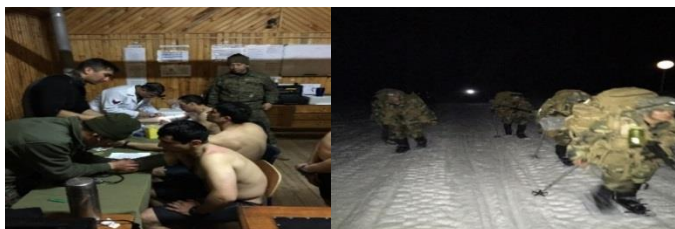
4.6 ESTUDIO NÚMERO 3:

Treinta y dos militares hombres (edad $26,3 \pm 4,50$ años, peso $75,1 \pm 7,6$ kg) realizaron una marcha invernal nocturna en la localidad de Lonquimay, Chile, con altitud inicial de 902 m y ascendiendo hasta los 1648 m. Los soldados realizaron la marcha con un equipamiento de 28 kg, y emplearon 5 h 38 min desde el campamento base (902 m) hasta los 1648 m y regreso por el mismo itinerario. La distancia recorrida fue 24,2 km con una pendiente media del 6,5%. La temperatura ambiental media durante la marcha fue de 2 °C.

Todos los sujetos llevaban residiendo 12 semanas en el campamento base situado a 902 m, con anterioridad a la realización de la marcha.

Para el estudio N° 3, la muestra sanguínea posterior (muestra Post) se realizó una vez que los sujetos alcanzaron los 1648 m y retornaron al campamento base (902 m) a las 06:00 hrs.

Figura 14



“Toma de muestras obtenidas por enfermeros militares a través de venopunción en el antebrazo utilizando el sistema Venoject®, Pre y Post marcha”.

Para la medición de cortisol y testosterona total: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación y se procesó en equipo Advia Centauro XP mediante Quimioluminiscencia. Para la testosterona libre: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Fue procesada en equipo Inmulite 2000 (Siemens) y mediante Radio-Inmuno-Análisis (Contador gamma).

Figura 15



“Procesamiento analítico de las muestras de sangre a través de la plataforma de automatización total LAB. CELL (Siemens) en interface con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP. Para el hemograma la muestra se almacenó en BD Vacutainer con EDTA y procesó en equipo Advia 2120, mediante citometría de flujo, óptico-láser e impedancia”.

Todas las muestras de sangre fueron enviadas al laboratorio clínico del Hospital Militar de Santiago inmediatamente después de su obtención y transportadas por personal de dicho laboratorio conforme a la normativa de transporte y almacenaje de fluidos biológicos.

Se calculó una presión atmosférica inicial de 663 mmHg y se midió la saturación de oxígeno (SaO₂) con un dispositivo portátil (Nonin CMS50D, USA, 2014). El peso se midió con una

báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015) y la temperatura timpánica se tomó antes y después de la marcha utilizando un termómetro infrarrojo. (Boeringher, Alemania, 2015). Al igual que en el estudio N°2 se calculó la presión arterial media (Acoltzin-Vidal et al., 2010).

Figura 16



“Valoración de la composición corporal”.

4.7 ESTUDIO PILOTO NÚMERO 4:

8 militares de tropas especiales en montaña realizaron un test de marcha simulada en cinta rodante con equipo militar de combate. Permanecieron una noche en privación de sueño durante un ejercicio de planificación en aula y volvieron a realizar el test al día siguiente. Los militares evaluados pertenecían a una patrulla de tropas especiales con 5 años de experiencia juntos en adiestramiento en montaña invernal y estival. Todos se ofrecieron voluntarios, fueron informados del procedimiento y firmaron una carta de consentimiento. El estudio contó con la aprobación del comité de ética en investigación en ciencias de la salud del Hospital Militar de Santiago y se realizó respetando todas las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013)

Figura 17

“Test incremental de marcha caminando en cinta rodante con 16,5 kg de peso en equipamiento individual de combate. La prueba tenía 7 estadios de 3 minutos de duración con pendientes del 1, 3, 5, 7, 8, 9 y 10 % y con una velocidad constante de 5 km/h”.

Figura 18

“Valoración de la VFC durante 5 min en posición decúbito dorsal antes del test de marcha (Pre) y otro justo al finalizar (Post); la primera sesión tuvo lugar sin privación de sueño y al día siguiente, a la misma hora, se repitió el procedimiento con privación de sueño”.

Con el objetivo de monitorizar diferentes variables fisiológicas y de carga externa (CE), se utilizaron diferentes tipos de dispositivos y software.

Todos los sujetos llevaron un pulsómetro Polar V800 (Polar, Kempele, Finland) con banda cardiaca. Los datos de este dispositivo fueron descargados mediante cable USB utilizando la correspondiente aplicación de la marca Polar FlowSync.

Figura 19

“Software Kubios para el análisis de la VFC, utilizando la serie de tiempo de los intervalos RR proporcionada por la aplicación Polar FlowSync de Polar”.

Las variables generales de la prueba de esfuerzo utilizadas en los diferentes análisis fueron: La frecuencia cardiaca de reposo (FCr), tomada antes de comenzar la prueba; la frecuencia cardiaca máxima (FCmax); la frecuencia cardiaca de trabajo (FCt) para cada escalón del test; la intensidad relativa (%) obtenida mediante la ecuación de Karvonen, Kentala y Mustala, (1957) y la potencia (Watts) calculada a partir de la velocidad, la inclinación y la masa corporal con el equipo.

El hecho de utilizar una pendiente hace que para calcular el trabajo y la potencia realizados en un tapiz rodante haya que tener en cuenta el componente vertical de la velocidad. La forma más habitual de tener en cuenta esto es mediante el seno del ángulo formado por el tapiz con la horizontal del suelo (McArdle, Match y Match, 2004) o sustituyendo el $\sin \alpha$ por el porcentaje de inclinación del tapiz dividido por 100 (Mora, 2009), ya que para valores muy pequeños de α , el valor numérico del $\sin \alpha$ es muy próximo al de la pendiente expresada en tanto por uno, pudiéndose utilizar la siguiente ecuación: (Naranjo, Santalla y Manonelles 2015).

$$P = m * g * v * p * 0,278$$

Donde v es la velocidad expresada en km/h; g es la aceleración media de la gravedad (9,8 m/s²); m es la masa del sujeto en kg y p es el porcentaje de inclinación del tapiz dividido por 100.

De acuerdo con la Task Force (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996) y con Camm et al., (1996) las variables de VFC utilizadas para el análisis en el dominio del tiempo fueron:

- RR: intervalo de tiempo entre dos ondas R (ms);
- SDNN: desviación estándar de los intervalos RR;
- RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes (ms);
- LnRMSSD: logaritmo neperiano de la RMSSD;
- pNN50: porcentaje de intervalos RR adyacentes que difieren más de 50 ms (%);

Siguiendo a Tulppo, Makikallio, Takala, Seppanen y Huikuri (1996), se determinaron en el gráfico de dispersión de Poincaré los ejes transversales (SD1) y longitudinal (SD2) y de acuerdo con Naranjo et al., (2015) se calculó el Stress Score (SS) como el inverso del SD2 multiplicado por 1000 y la Ratio simpático-parasimpático (R-S/Ps) como el cociente entre el SS y SD1.

A efectos de análisis del balance autonómico se utilizó el logaritmo neperiano del SS (LnSS) de actividad simpática y el LnRMSSD como indicador de actividad parasimpática.

Figura 20



“Valoración de la composición corporal”

V. RESULTADOS

RESULTADOS

5.1 ESTUDIO NÚMERO 1:

“IMPACTO DEL ESTRÉS POR HIPOTERMIA EN COMANDOS DEL EJÉRCITO DE CHILE”

Este artículo se encuentra publicado en revista *Military Medicine*:

Nieto Jimenez, C., Cajigal Vargas, J., Vladilo, T., Sofia, V., & Naranjo Orellana, J. (2018). Impact of Hypothermic Stress During Special Operations Training of Chilean Military Forces. *Military Medicine*, Volume 183, Issue 7-8, 1 July 2018, Pages e193–e199, <https://doi.org/10.1093/milmed/usx131>

INTRODUCCIÓN

El Ejército Chileno en el contexto de sus tareas militares, considera procesos que le permitan desarrollar capacidades físicas para dar las respuestas al impacto del escenario bajo determinados agentes estresores.

Los estresores más comunes en el entorno del Ejército son la hipoxia, hipotermia, hipertermia y privación de sueño y el empleo de fuerzas militares en el campo de batalla estará determinado por características geográficas que se encuentran desde el altiplano hasta los confines australes.

El estudio del efecto de la hipotermia como agente estresor y su relación con parámetros cardiovasculares, hematológicos, antropométricos, endocrinos, e inmunológicos no ha sido abordado experimentalmente en forma combinada en poblaciones militares de estas características, propias del continente latinoamericano.

Uno de los estresores aplicados en el curso de comandos del Ejército de Chile, es la hipotermia. Se caracteriza por el rápido descenso de la temperatura central bajo 35 °C, produciéndose trastornos cardiovasculares y respiratorios, del sistema nervioso central, coagulación, temblores y confusión (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006). Una condición de hipotermia extrema en operaciones militares, presenta bradicardia, arritmias, rigidez, acidosis

respiratoria, coma y muerte con temperaturas por debajo de 28 °C (Li et al., 2016; Perich et al., 2016).

En comparación a la temperatura ambiental, el agua fría reduce 25 veces más rápido la temperatura corporal, lo que provoca una rápida condición de hipotermia (Hangalapura et al., 2006).

La inmersión en agua fría acompañada por periodos de apnea, disminuye el riego sanguíneo en los tejidos periféricos, ya que entre otros efectos provoca un descenso en su tasa metabólica, asimismo se produce un notable descenso de conducción nerviosa lo que provoca pérdida de sensibilidad y descenso de la capacidad motriz (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006).

Se ha observado que una mayor capacidad de tolerancia al agua fría es una respuesta que se debería a un aumento en la capacidad de vasoconstricción periférica, elevación de la tasa metabólica reposo y una composición corporal que permita evitar grandes pérdidas de calor (generando temblores musculares) la que es dependiente de una masa muscular elevada (Collins et al., 1977; Castellani et al., 2002). Asimismo, el estrés por hipotermia parece modificar tanto las adaptaciones agudas del sistema inmune como la expresión génica del mismo, al menos en modelos animales (Hangalapura et al., 2006).

La exposición aguda a la hipotermia estimula la respuesta neuroendocrina del eje hipotálamo hipófisis adrenal, provocando una elevación del cortisol y norepinefrina, vasoconstricción periférica y termogénesis (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006).

Se ha observado en atletas de invierno que a temperaturas frías pueden tener mayores niveles de daño inmune inducido por estrés de lo que se esperaría bajo temperaturas más suaves (LaVoy et al., 2011). Asimismo, se ha estudiado la diferencia de algunas personas que, a pesar de tener características físicas similares, tienen mayor o mejor resistencia a lesiones relacionadas con el frío (Brazaitis et al., 2014).

El cortisol elevado repercute sobre la actividad del sistema inmune, en personas sometidas a estrés crónico como deportistas altamente entrenados (Li et al., 2012). Sin embargo, de forma paradójica, la exposición al frío provoca una mayor actividad del sistema inmune posiblemente como respuesta a una mayor actividad simpática (Brazaitis et al., 2014). La exposición aguda y crónica al frío se asocia a una mayor capacidad antioxidante, mayor actividad de las chaperoninas, elevación de citoquinas anti inflamatorias, incremento en la población de monocitos, granulocitos y células natural killer, constituyen un 10- 20% de los linfocitos de sangre periférica, asimismo, es la primera defensa contra las infecciones virales y células cancerígenas (Collins et al., 1977, LaVoy et al., 2011, Zhao et al., 2014)

Desde la perspectiva de la condición física, en reclutas masculinos de la Fuerza Aérea helénica se estudiaron los efectos de un programa básico de entrenamiento físico militar de 4 semanas, sobre el número y distribución de células inmunes circulantes y respuestas hormonales adrenérgicas y adrenocorticales obteniendo resultados de un aumento significativo en los linfocitos y en la reducción de neutrófilos (Makras et al., 2005). En el Ejército Chino también se estudiaron los efectos de la fatiga asociada a las operaciones militares y se observaron cambios en las funciones reguladoras de los sistemas neuroendocrino e inmunológico (Li et al., 2015).

En la marina Noruega se valoró un nuevo concepto de entrenamiento bajo una periodización de 6 meses en unidades de operaciones especiales, encontrando resultados significativos para el mantenimiento de las cualidades físicas específicas de acuerdo a sus tipos de misiones. (Solberg et al., 2015).

Sin embargo, en toda la bibliografía revisada no hemos encontrado un estudio que integre el efecto del agente estresor hipotermia (AEH) y su relación con parámetros cardiovasculares, antropométricos hematológicos, endocrinos e inmunológicos.

El objetivo del presente estudio es identificar los cambios endocrinos, hematológicos, cardiovasculares e inmunológicos provocados por el agente estresor hipotermia y asociar estas variables con la composición corporal y condición física en el curso de comandos del Ejército de Chile, cuya duración es de cuatro meses en temporada invernal.

MATERIALES Y MÉTODOS

42 militares fueron expuestos a permanecer en agua fría (10,6 °C), solo con vestuario interior, el tiempo de permanencia fue hasta el límite volitivo individual, desde los 50 minutos hasta los 75 min. Todos se encontraban voluntarios y fueron informados del procedimiento firmando una carta de consentimiento contando con la aprobación del comité de ética en investigación en ciencias de la salud (Comando de salud, Hospital Militar de Santiago), con presupuesto aprobado para investigación en ciencias de la actividad física, respetando las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013).

Se realizaron mediciones sanguíneas en tres momentos, todas a las 06:00 am. La primera medición se realizó dos días antes de la inmersión en hipotermia, la segunda medición fue en la condición de hipotermia y la tercera medición fue durante el periodo final de baja exigencia física y psicológica del curso, la cual sirvió como referencia basal.

En una piscina de 25 mts el tiempo de permanencia en hipotermia comenzó en el instante en que los sujetos ingresaron y se detuvo al momento de estar fuera del agua. La temperatura del agua se monitoreo utilizando un termómetro infrarrojo. (Boeringher, Alemania, 2015).

PROCEDIMIENTO

Todas las muestras fueron obtenidas por venopunción a través del sistema Venoject® y realizadas por enfermeros militares, siguiendo el procedimiento estipulado en el Manual de toma de muestras del departamento laboratorio clínico del Hospital Militar de Santiago y enviadas al laboratorio bajo cumplimiento estricto de la normativa nacional e internacional para transporte de fluidos biológicos y/o material potencialmente infeccioso.

El Procesamiento analítico de 7 mediciones se realizó en el Lab Core bajo la plataforma de automatización total LAB CELL (Siemens) en interface con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP.

EXÁMENES

Hemograma: recolectado en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con EDTA y procesado en equipo Advia 2120, utilizando citometría de flujo, óptico-láser e impedancia.

Cortisol, testosterona total, TSH, T3 y T4 libre: recolectado en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Procesados en equipo Advia Centauro XP utilizando como metodología Quimioluminiscencia.

Por último, ACTH y testosterona libre: fueron recolectados en tubo de 3 ml, BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. ACTH fue procesada en equipo Inmulite 2000 (Siemens) utilizando como metodología Quimioluminiscencia y Testosterona Libre por Radio-Inmuno-Análisis (Contador gamma).

El peso se midió con una báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015). Asimismo, se valoró la temperatura timpánica (Boehringer, Alemania, 2015), presión arterial de forma manual (esfingomanómetro Blood Pressure kit, CEISO, USA, 2014), frecuencia cardíaca y saturación de Hb, (saturómetro portátil, Nonin CMS50D, USA, 2014).

En un segundo momento (dos días después) se realizaron las mediciones de inmersión en agua fría a las 06:00 am. Las mediciones sanguíneas, frecuencia cardíaca, presión arterial y saturación de Hb fueron realizadas inmediatamente al salir de la piscina en condición de hipotermia.

En un tercer momento, y a la misma hora (06:00 am) en el periodo final de baja exigencia física y psicológica del curso se realizaron mediciones basales con el mismo protocolo descrito de la primera medición.

Antes del inicio del adiestramiento del periodo básico se realizaron mediciones de condición física que consideraban pruebas de campo a través de un test máximo de flexiones de brazos en pronación en barras cilíndrica, máxima cantidad de repeticiones en abdominales en 1 minuto y test de 2.400 mts corriendo en pista atlética.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En primer lugar, se realizó un estudio descriptivo, los datos son presentados como promedios, máximos, mínimos y desviaciones estándar y fueron analizados utilizando el Statistical Package for the Social Sciences 15,0 software (SPSS Inc, USA).

Para el contraste de hipótesis, se testeó la normalidad de las distribuciones empleando el test de SHAPIRO-WILK por tratarse de una muestra menor a 50 sujetos. Al ser todas distribuciones normales (basal, Pre y Post), se utilizó el test de LEVENE para establecer la igualdad de varianza, y se aplicó un ANOVA a las tres distribuciones. Se utilizó como test post Hoc el test de BONFERRONI. Se consideró el nivel de significación en $p < 0,05$.

Se realizó un estudio de correlación para medir la fuerza de asociación entre 2 variables, se utilizó la correlación de Pearson con un valor de significancia menor a 0,05.

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra edad, peso, talla, adiposidad corporal, tiempo de exposición a hipotermia y resultados en los 2.4 km corriendo en pista atlética. El tiempo promedio de permanencia en agua fría fue de 3.044 s (50 min y 44 s), con un tiempo mínimo de 830 s (13 min 50 s) y un máximo de 4526 s (1 h 15 min 26 s).

Tabla 2:

Características físicas de composición corporal, tiempo de permanencia máxima en hipotermia aguda. Promedio, desviación estándar y valores máximos y mínimos (n=42).

	Prom.	DE	Min.	Max.
Edad (años)	27,4	3,92	21	40
Estatura (mts)	1,73	0,06	1,63	1,85
Masa (Kg)	73,6	7,8	86,8	60,0
Adiposidad corporal (%)	12,2	3,9	5,6	21,5
Tiempo Agua (s)	3.044	900,1	830	4.526

El impacto fisiológico a nivel cardiovascular causado por la exposición al AEH se aprecia en la tabla 3, y los cambios de temperatura timpánica Pre- y Post se observan en la figura 21. ($35,8 \pm 0,4$ y $34,5 \pm 0,4$ °C) respectivamente.

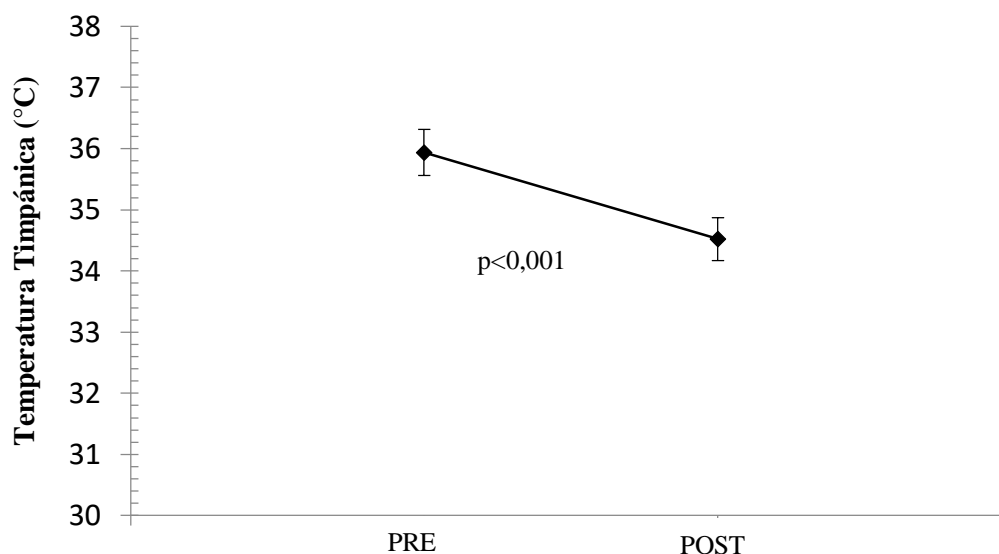
Tabla 3:

Cambios en la saturación de oxígeno, presión arterial, frecuencia cardiaca y temperatura causados por la exposición aguda a hipotermia en agua fría (n=42).

	Basal		Pre-Hipotermia		Post-Hipotermia		p
	Prom.	DE	Prom.	DE	Prom.	DE	Pre-Post
Presión Sistólica (mmHg)	109,4	7,5	107,5	7,7	127,2	15,1	p<0,001
Presión Diastólica (mmHg)	71,7	7,6	61,6	9,3	86,5	16,7	p<0,001
Frecuencia Cardiaca (Lat/min)	no	no	63,9	9,4	101,5	21,1	p<0,001
Saturometría de O₂ (%)	no	no	97,4	1,1	93	5,4	p<0,001
Temperatura (°C)	no	no	35,8	0,4	34,5	0,4	p<0,001

Figura 21:

Valores medios y desviación estándar de los cambios de temperatura timpánica Pre y Post al alcanzar el tiempo límite de hipotermia. (n=42)

**Tabla 4:**

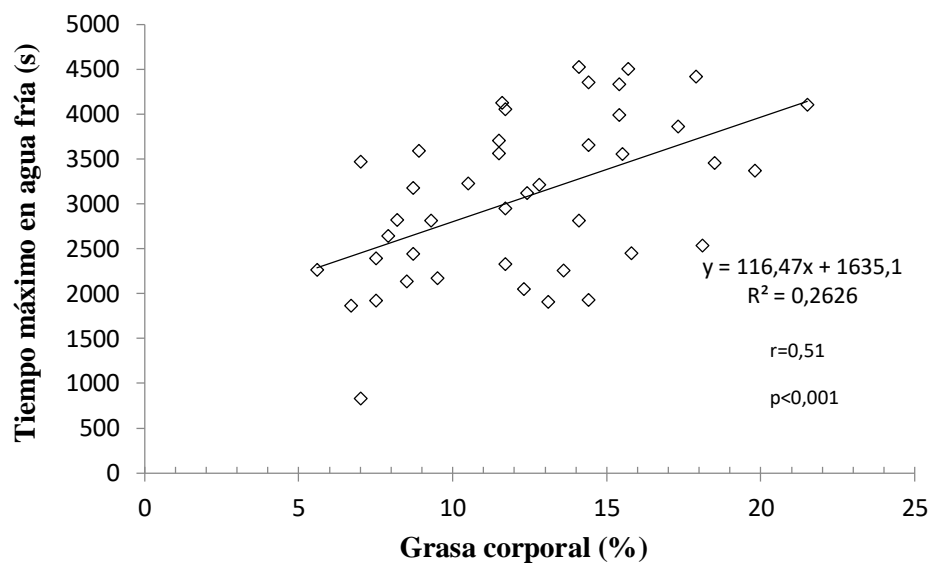
Datos de las pruebas de condición física expresadas como medias, desviación estándar, máximos y mínimos, así como las correlaciones con el tiempo en el agua.

	Prom.	DE	Max.	Min.	DE	Correlación	p
Repeticiones máximas de abdominales (1 min)	49,1	5,1	61	36	0,4	0,06	ns
Flexo extensión de codos en barra cilíndrica (max)	11,2	2,5	17	6	15,1	-0,15	ns
Tiempo de carrera de 2400 mts (s)	589,1	40,7	721	495	16,7	-0,02	ns

Al correlacionar el tiempo de permanencia en agua fría con las diversas variables fisiológicas y físicas estudiadas, se observa una correlación significativa entre el tiempo límite de permanencia en hipotermia en agua con la adiposidad corporal (figura 22), y con los incrementos de ACTH y cortisol (figura 23 y 24), en la tabla 5 se observan los cambios en las hormonas en condiciones basal, Pre y Post.

Figura 22:

Correlación entre el porcentaje de tiempo límite de tolerancia a la hipotermia y adiposidad corporal (n=42).

**Figura 23:**

Correlación entre el tiempo límite de tolerancia a la hipotermia con la diferencia (Post-Pre) de ACTH (n=42).

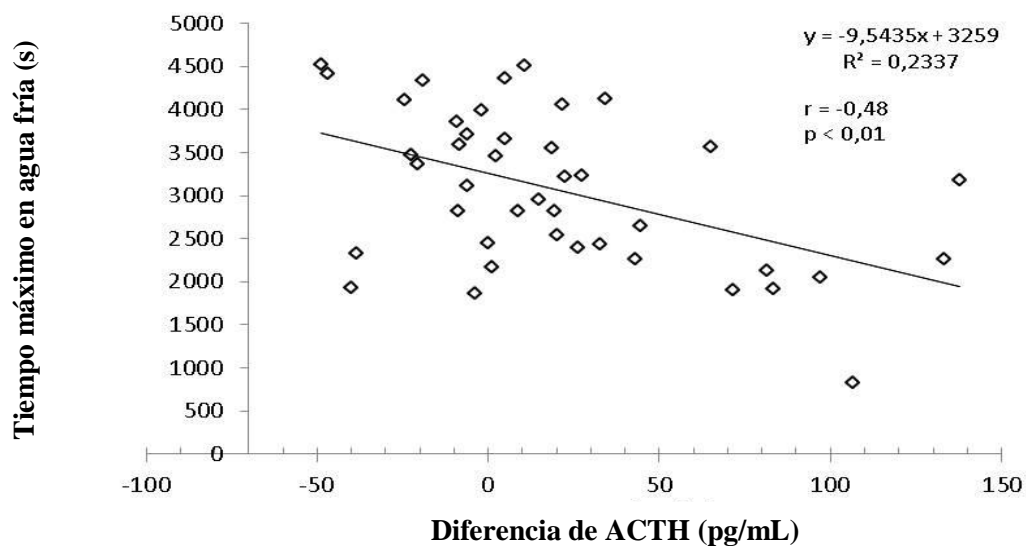
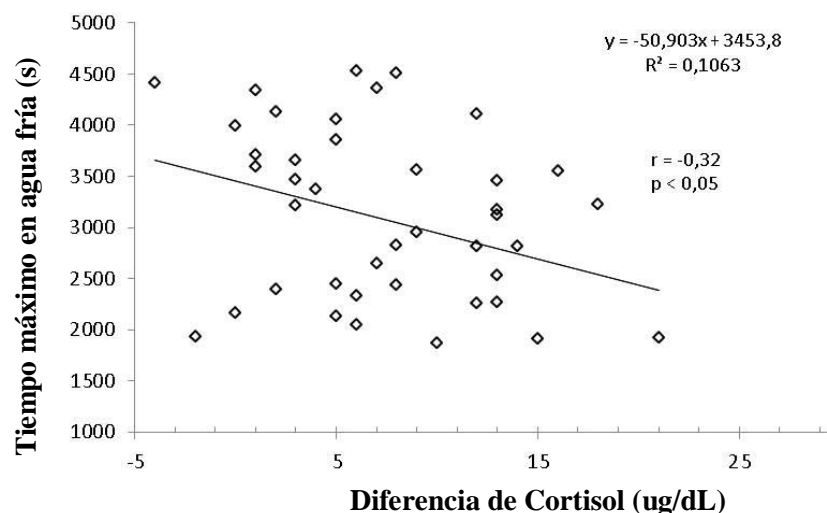


Figura 24:

Correlación entre el tiempo límite de tolerancia a la hipotermia con la diferencia (Post-Pre) cortisol, (n=42).

**Tabla 5:**

Cambios en las concentraciones de hormonas causadas por exposición aguda a la hipotermia.

	Basal		Pre-Hipotermia		Post-Hipotermia		p	p	p
	Prom.	DE	Prom.	DE	Prom.	DE	Bas-Pre	Pre-Post	Bas-Post
Cortisol (ug/dL)	20,8	5,6	25,8	4,3	33,3	5,8	ns	p<0,001	p<0,001
ACTH (pg/ml)	41,1	16,4	44,4	21	64,1	38,3	ns	p<0,01	p<0,001
Test.Total (mg/ml)	2,58	0,92	2,22	1,01	1,57	0,6	ns	p<0,001	p<0,001
Test. Libre (pg/ml)	9,46	3,17	9,26	3,4	5,68	2,7	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Ratio TT/C	0,12	0,01	0,09	0,04	0,05	0,02	ns	p<0,001	p<0,01
Ratio TL/C	0,45	0,22	0,37	0,1	0,18	0,1	ns	p<0,001	p<0,001
TSH (uUI/ml)	no	no	1,9	0,7	4,1	2,3	no	p<0,001	no
T3 (mg/dL)	1,09	0,19	1,02	0,17	1,03	0,17	ns	ns	ns
T4 (mg/dL)	no	no	1,06	0,12	1,14	0,12	no	p<0,001	no

TT: testosterona total; TL: testosterona libre; C: cortisol, ns: No significativo.

La tabla 6 muestra los resultados del hemograma realizado en condiciones basal, Pre y Post hipotermia aguda. En relación a los cambios de la capacidad de transporte de oxígeno en sangre, se encontró un incremento en las concentraciones de hemoglobina (Hb), eritrocitos (Er), volumen corpuscular medio (VCM) y de hematocrito (Htt) en el AEH. Asimismo, muestra los cambios en la serie blanca de leucocitos, se aprecia un aumento significativo en neutrófilos, basófilos y monocitos. También, un incremento en la población plaquetaria.

Tabla 6:

	Basal		Pre		Post		p	p	p
	Prom.	DE	Prom.	DE	Prom.	DE	Bas-Pre	Pre-Post	Bas-Post
Hemoglobina (mg/dL)	14,7	0,9	14,5	0,7	15,9	0,8	ns	p<0,001	p<0,001
Hematocrito (%)	42,6	2,5	42,9	2,0	47,1	2,4	ns	p<0,001	p<0,001
Eritrocitos (M/uL)	no	no	4,8	0,32	5,27	0,31	no	p<0,001	no
VCM* (fL)	no	no	88,5	3,01	89,5	3,37	no	p<0,001	no
Leucocitos (K/uL)	7,0	1,5	7,9	2,0	11,9	3,1	ns	p<0,001	p<0,001
Neutrófilos (K/uL)	3,9	1,2	5,0	1,7	6,5	2,3	ns	p<0,001	p<0,001
Basófilos (K/uL)	0,05	0,02	0,04	0,02	0,12	0,08	ns	p<0,001	p<0,001
Eosinófilos (K/uL)	0,19	0,13	0,15	0,07	0,16	0,1	ns	ns	ns
Monocitos (K/uL)	0,5	0,11	0,6	0,17	0,95	0,33	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Plaquetas (K/uL)	322,1	50	319,1	65,5	364,6	66,9	ns	p<0,001	ns

*VCM: Volumen corpuscular medio, ns: No significativo.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio es que el agente estresor hipotermia (AEH) impacta significativamente a nivel cardiovascular, sistema inmunológico, respuesta endocrina, hematológica y antropométrica. Sin embargo, no existe una correlación significativa en la condición física con el AEH.

A nivel cardiovascular, la exposición al AEH produjo una disminución en la temperatura central inferior a 35 °C, considerada como condición inicial de hipotermia. La temperatura timpánica (TT) está considerada un buen indicador de temperatura central (Apa et al., 2013) y ha sido utilizada en diferentes disciplinas deportivas (Meir, Brooks y Shield, 2003), como en personal de extinción de incendios (Ftaiti, Grelot, Coudreuse, Nicol y Coudreuse, 2001).

Este instrumento de medición permitió identificar los cambios fisiológicos Post-hipotermia en el incremento de la presión arterial, frecuencia cardíaca y una menor saturación de la HbO₂ (tabla 3). No se encontraron correlaciones significativas entre los cambios de TT y el tiempo límite de tolerancia a la hipotermia, observando en el presente estudio que los cambios de TT no se relacionan con el tiempo de permanencia en el agua fría. Esto concuerda con la experiencia de los mandos en que la respuesta a la permanencia en el agua fría varía entre los alumnos en el adiestramiento habitual del periodo básico.

Asimismo, en el rendimiento de la condición física, no existe ninguna correlación estadística con el AEH (tabla 4). Este hallazgo significa que el tener una mejor condición física, muscular y cardio-respiratoria no respalda tener una mayor capacidad de tolerancia con el AEH, lo que concuerda con lo propuesto por Nieto y Cárcamo (2016) de incluir programas de entrenamientos diferenciados asociados a tipos de misión en el Ejército chileno y asimismo con los recientes estudios realizados sobre la necesidad de implementar nuevos conceptos de entrenamiento en unidades de Fuerzas Especiales de la marina Noruega (Solberg et al, 2015).

A nivel endocrino, en el presente estudio, se encontraron cambios en las hormonas ACTH y cortisol (tabla 5) las que aumentan y correlacionan significativamente de forma negativa con

el tiempo de exposición al agua fría, aunque en ambos casos muestran una débil asociación a nivel gráfico (figura 23 y 24).

Específicamente, el cortisol está sobre el rango de normalidad o valor referencial tanto en condiciones Pre como Post exposición a hipotermia (6-25 ug/dL), lo que indica que los sujetos se encontraban bajo una condición de estrés previo a las mediciones de hipotermia, como era de esperar en un adiestramiento de estas características. No ocurre lo mismo con ACTH, hormona responsable de la liberación de cortisol en la adenohipófisis y que se mantiene dentro de los rangos fisiológicos de normalidad en ambas condiciones (9-25 pg/ml), posiblemente como efecto de la retroalimentación negativa que tienen ambas hormonas.

Las hormonas ACTH y cortisol son responsables del control metabólico en situaciones de estrés agudo y crónico. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se elevan más en aquellos sujetos que toleran menos tiempo en agua fría, a diferencia de los sujetos que resistieron más tiempo y que tuvieron menores incrementos de éstas hormonas (figuras 23 y 24). La razón se desconoce y pudiera ser que aquellos sujetos que elevan más el cortisol están mostrando un mayor pico de estrés fisiológico ante la misma situación y esto podría determinar que permanezcan menos tiempo en el agua con dichas temperaturas. Los hallazgos del presente estudio concuerdan con las recientes investigaciones de Brazaitis et al., (2014) que explican que existen 2 tipos de respondedores a la hipotermia por agua fría en función del tiempo que demoran en alcanzar los 35,5 °C de temperatura rectal; los sujetos de “enfriamiento rápido” y los de “enfriamiento lento” y se ha demostrado que las diferencias se explican por la capacidad de aislamiento del calor y factores metabólicos. El mismo autor además ha encontrado como respuesta aguda a la hipotermia, incremento en el cortisol, catecolaminas y cambios contradictorios en la respuesta inmune. Se observa en el presente estudio que el cortisol y ACTH se elevan más en aquellos sujetos que toleran menos tiempo en agua fría.

Asimismo, en el presente estudio se elevan TSH y T4 (tabla 5) lo que es esperable como defensa corporal al incrementar la tasa metabólica y con ello la producción de calor (López Chicharro y Fernández Vaquero, 2006). Sin embargo, no hay correlación significativa de estas hormonas con el tiempo de límite del AEH. No se observaron cambios significativos de T3 (tabla 5) y se desconocen sus causas.

Consecuente con lo anterior, los resultados del presente estudio concuerdan con los realizados en el curso de supervivencia del Ejército norteamericano (Morgan et al., 2000) donde, a pesar de que los estresores eran diferentes, la respuesta hormonal es la misma. El cortisol aumentó significativamente durante la experiencia de cautiverio y fue mayor después de la exposición de los sujetos a los interrogatorios. Permaneciendo significativamente elevado en la recuperación. La testosterona se redujo significativamente dentro de las 12 horas de cautiverio.

Sin embargo, se observaron reducciones de T4 total y libre y de T3 total y libre, así como aumentos de tirotropina, situación que no concuerda con lo observado en el presente estudio donde se elevan TSH y T4 y los cambios de T3 son escasos. Lo anterior, podría indicar que los cambios hormonales serían una respuesta inespecífica de estrés y no una respuesta específica a la hipotermia como se observa en situaciones de cautiverios e interrogatorios.

La hormona testosterona correlaciona significativamente con el AEH (tabla 5), tanto de forma libre como total (unida a proteína) y disminuye su concentración sanguínea bajo una condición post hipotermia (tabla 5), situación esperada y que respalda la condición de estrés causada por la exposición aguda a hipotermia. Esta situación implica un estado catabólico y anti-anabólico propio de situaciones específicas de estrés donde está en riesgo la integridad. Esta condición se refuerza aún más con el cociente testosterona libre/cortisol, donde se observa una marcada disminución. Por otra parte, los resultados de la hormona testosterona y cortisol son similares a los valores encontrados en deportistas de alto rendimiento bajo una condición de sobrecarga excesiva o bien de sobre-entrenamiento (relación testosterona libre/cortisol menor a 1,0), (Gonzalez jurado, De Teresa, Molina, Guisado y Naranjo, 2009; Hayes, Grace, Baker, Sculthorpe, 2015; Di Blasio et al., 2016). Y también concuerdan con estudios de Ganong (1990) y Vasange-Tuominen, Perera-Ivarsson, Shen, Bohlin y Rolfsen (1994) que observaron que los niveles elevados de cortisol disminuyen la producción de testosterona. Otros autores señalan que una condición prolongada de esta situación se asocia con pérdida de masa muscular, menor capacidad de recuperación física y trastornos emocionales con eventos depresivos (Urhausen, Gabriel y Kindermann, 1995; Hayes et al, 2015).

Desde la perspectiva hematológica, el incremento en el hematocrito (tabla 6) podría reflejar por una parte una posible liberación de eritrocitos desde el bazo o bien una disminución en el

volumen plasmático. En nuestro estudio se observa un aumento significativo del VCM lo que apoya la idea de la liberación de formas eritrocitarias jóvenes desde el bazo. Estos resultados concuerdan con los de Brazaitis et al., (2014), quien reportó que la vasoconstricción propia de la hipotermia podría liberar eritrocitos desde el bazo. Igualmente, la propia vasoconstricción inducida por la hipotermia podría ser la causante del descenso observado en la SatO₂ (tabla 3) (Brazaitis et al., 2014).

Hay otros estudios en unidades de Fuerzas Especiales navales norteamericanas en los que se muestra la evolución conocida del hematocrito en entrenamientos de resistencia, con un aumento agudo producto del entrenamiento y un descenso a lo largo de 2 años (Kehat, Shupak, Goldenberg y Shoshani, 2003).

Asimismo, se observó que varias células del sistema inmune aumentan su población (tabla 6): leucocitos, neutrófilos, basófilos, monocitos y plaquetas. Este aumento es estadísticamente significativo en todos los casos. Posiblemente esta situación sea producto de la hipotermia de forma específica, que provoca una fuerte vasoconstricción y expone al organismo a potenciales infecciones, lo que implicaría una mayor actividad del sistema inmune (Karnaukhova Sergievich, Ignat'ev y Karnaukhov, 2008).

Los cambios en las concentraciones de leucocitos son interesantes, debido a que habitualmente se asocia el estrés con inmunosupresión, y por ende, un alto riesgo de adquirir enfermedades infecciosas (Hangalapura et al., 2006). En el presente estudio se observa lo contrario, varias células del sistema inmune aumentan su población. Como se mencionó, posiblemente sea producto de la hipotermia de forma específica. Estos hallazgos concuerdan con los trabajos publicados por La Voy et al., (2011) y Brazaitis et al., (2014) y con las apreciaciones informales que tienen los mandos del curso de comandos, donde las enfermedades respiratorias son muy escasas a pesar de las reiteradas exposiciones al agua fría en período invernal.

Desde la perspectiva antropométrica (figura 22) se obtiene una correlación significativa entre el porcentaje graso y el tiempo de exposición del AEH. Contar con una mayor adiposidad corporal crea capacidad como aislante térmico, por lo que en nuestro estudio los sujetos que permanecieron más tiempo en hipotermia tenían un mayor contenido de porcentaje graso, lo

que les permitió alcanzar mayores tiempos de exposición en el agua fría. Estos hallazgos concuerdan con los estudios de Collins et al., (1977) y Castellani et al., (2002). Se encontró una correlación negativa y significativa entre el tiempo de exposición a hipotermia y la masa muscular estimada, contradiciendo trabajos previos que indican que una mayor masa muscular permite generar temblores y combatir mejor la hipotermia (Castellani et al., 2002).

Una limitación del estudio ha sido la tasa de abandono de los alumnos en el periodo básico, habiendo realizado la medición final (basal) solo a 42 sujetos, de un total de 63 sujetos.

Existen en la actualidad dispositivos para medición de temperatura intra-abdominal, mediante capsulas con termómetros que no estaban disponibles en el Ejército chileno en el momento del estudio, por lo que sería interesante contrastar los resultados del presente trabajo con esos instrumentos de medición.

También sería interesante Incluir en el test de hipotermia una valoración psicológica con el propósito de identificar el adecuado manejo del estrés en aquellas personas de mayor tolerancia al AEH, y una medición de variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) como indicadora del nivel de estrés simpático (Naranjo et al., 2015).

CONCLUSIÓN

El AEH en agua fría, causó estrés agudo por hipotermia en la totalidad de los sujetos, evidenciado por la disminución en la temperatura central, cambios cardiovasculares, endocrinos, antropométricos e inmunológicos. Existen diferencias individuales en el tiempo límite de tolerancia a la hipotermia en agua fría. Estas diferencias no se explican por la condición física. Pero si se explican por una mayor adiposidad corporal total y menores cambios en las hormonas ACTH y cortisol. Una condición de estrés por hipotermia aguda también afecta al ambiente anabólico/catabólico, lo que se ve reflejado en una disminución en el cociente testosterona libre/cortisol. Finalmente, el AEH produce un incremento en la población de las células del sistema inmune, posiblemente como un mecanismo de defensa preventivo ante la exposición al riesgo de infecciones por esta condición ambiental.

5.2 ESTUDIO NÚMERO 2:

“CAMBIOS HORMONALES DURANTE OPERACIONES MILITARES EN GRAN ALTITUD EN EL EJÉRCITO CHILENO”

Este artículo se encuentra en revisión en la revista Archivos de Medicina del Deporte.

INTRODUCCIÓN

La preparación de soldados para el combate en altura y la probabilidad de que los futuros despliegues puedan ser impredecibles y, por tanto, con poco tiempo de preparación dependerá, entre otros factores, de la aclimatación fisiológica en el menor tiempo posible. Estas condiciones de altitud ejercen un impacto adicional al estrés de las operaciones militares.

El Ejército Británico abordó estas temáticas de adaptación a la altitud simultáneamente con estrategias de entrenamiento a la intensidad adecuada (Heil et al., 2014). Asimismo, en una revisión de la literatura del Ejército norteamericano concluyeron que se requieren exposiciones a altitudes de al menos 4000 m por una duración diaria desde 1,5 horas y repetidas durante una semana o más para tener una alta probabilidad de desarrollar aclimatación a la altitud. (Muza, 2007). Para las unidades de Operaciones Especiales es aún más importante este tipo de aclimatación, porque el despliegue rápido a regiones montañosas de gran altitud (GA) (Bergeron et al., 2012) son para misiones complejas y con poco aviso de preparación.

La menor disponibilidad de oxígeno con la altura implica una disminución en la presión parcial del oxígeno a nivel alveolar y arterial (Brutsaert, Araoz, Soria, Spielvogel y Haas, 2000) produciendo en función del tiempo, un desplazamiento hacia la izquierda en la curva de disociación de la hemoglobina, como mecanismo compensatorio ante la hipoxia (Winslow, 2007) produciendo además cambios en el volumen plasmático de la sangre y en su respuesta eritropoyética (Heinicke et al., 2003; Heinicke et al., 2005; Prommer et al., 2007).

En este sentido, existen trabajos que abordan el impacto de la hipoxia sobre la respuesta hormonal con resultados diferentes. Para el cortisol, la literatura reporta hallazgos contradictorios. Mientras algunos autores observan aumentos de cortisol en reposo en GA

(Sutton et al., 1977; Zaccaria et al., 1998; Barnholt et al., 2006), otros estudios no han encontrado en reposo valores elevados de cortisol en GA (McLean et al., 1989; Benso et al., 2007). Similar diferencia se encuentra en los valores de cortisol, cuando es distinto el tiempo de exposición a GA. Algunos autores han observado que mediante ascensos graduales los niveles del cortisol en reposo no cambian (Woods et al., 2012), del mismo modo que otros estudios, reportan que los sujetos expuestos rápidamente a condiciones hipóxicas, ya sea en una cámara hipóbarica o usando vehículo o helicópteros para ascender rápidamente, han aumentado el cortisol (Sutton et al., 1977; Larsen et al., 1997; Richalet et al., 2010).

Similar situación contradictoria observamos con la testosterona en altitud. Hay estudios que refieren una disminución de la testosterona en un programa de entrenamiento de escalada de montaña (Wang et al., 2001), mientras que otros autores postulan una elevación de testosterona en situaciones de exposición aguda a la altura (Gonzales, 2011). En poblaciones militares se ha observado que la exposición intermitente en altitudes de 5300 m durante 6 meses, disminuye inicialmente la testosterona y luego aumenta gradualmente sus valores después de la exposición en hipoxia (He et al., 2015).

Sobre las respuestas inducidas por el ejercicio en altitud en algunas células de la serie blanca, Klokke et al., (1993) encontraron aumentos de las concentraciones de leucocitos durante condiciones hipobáricas de 20 minutos debido a una mayor concentración de linfocitos. Mientras que Niess et al., (2003) observaron un mayor aumento en neutrófilos después de un entrenamiento intervalado extensivo a una altitud de 1800 m en comparación a la misma situación a nivel del mar. Umeda et al., (2011), observaron diferentes cambios significativos según las distintas subpoblaciones estudiadas en neutrófilos después de realizar varios tipos de ejercicios atribuyendo sus cambios al equilibrio entre factores externos y factores internos.

Con respecto a la serie roja en altitud algunos estudios han informado que los atletas de resistencia en comparación con los sujetos no entrenados pueden mostrar anomalías hematológicas y niveles de hemoglobina reducidos, cerca o por debajo del límite inferior del rango normal (Clement et al., 1977; Muza, 2007). Otros estudios han mostrado que algunas células de la serie roja se incrementan después de tres semanas de entrenamiento en biathlon (Heinicke et al., 2005). Por su parte Hematy et al., (2014) refirieron cambios en los glóbulos

rojos entre el inicio de la escalada a 1830 m y 2, 24 y 48h después de la estadía a 1830 m de altura (después de regresar de 4000 m de altitud) fueron significativos.

Sin embargo, en toda la bibliografía revisada no hemos encontrado un estudio que aborde el impacto fisiológico en soldados aclimatados a exposiciones agudas a GA. Uno de los agentes estresores aplicados a militares del Ejército chileno durante su adiestramiento en operaciones especiales es la marcha invernal a GA y su impacto fisiológico no ha sido abordado experimentalmente.

El objetivo del presente estudio es identificar el impacto fisiológico (con especial atención a los parámetros endocrinos y hematológicos) de la exposición aguda a GA en tropas especiales aclimatadas del Ejército de Chile

MATERIAL Y MÉTODOS

ASPECTOS ÉTICOS

La presente investigación fue aprobada por el comité de ética en investigación en ciencias de la salud, Hospital Militar de Santiago, respetando las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013).

Los militares fueron informados del procedimiento y aceptaron su participación voluntaria a través de la firma de un consentimiento.

POBLACIÓN DE ESTUDIO

29 Militares (edad de $25,7 \pm 4,50$ años, peso de $76,9 \pm 7,12$ kg y talla de $178 \pm 0,05$ cm) realizaron una marcha invernal nocturna en la localidad de Portillo, los Andes, Chile, con altitud inicial de 2800 m hasta los 3648 m y un desnivel de 848 m. La temperatura fue de -3°C a -12°C . Se calculó una presión atmosférica inicial de 554 mmHg (Larsen et al., 1997) a los 2800 m y se midió una saturación arterial de oxígeno SaO_2 de 96,8% ($\pm 1,85$). El tiempo de marcha fue de 5 hrs 35 min desde el campamento base (2800 m) hasta los 3648 m y retornar al campamento base. La distancia recorrida fue 20,6 km con una pendiente media del 9,3%.

Transportaban equipo con un peso de 28 kg y se obtuvieron dos muestras de sangre, una vez justo al retornar al campamento base tras la marcha (muestra Post) y otra muestra a la misma hora del día anterior (muestra Pre). Todos los sujetos llevaban residiendo 12 semanas en el campamento base situado a 2800 m, con anterioridad a la realización de la marcha, por lo que se encontraban aclimatados previamente al estudio.

TOMA DE MUESTRAS SANGUÍNEAS.

Se obtuvieron dos muestras de sangre a la misma hora. La muestra sanguínea antes de la marcha (muestra Pre) se obtuvo a las 06:00 y posteriormente los sujetos estuvieron en el campamento base realizando planificación en aula de la ruta de marcha. El inicio de marcha fue a las 24 hrs (media noche). La muestra sanguínea posterior (muestra Post) se realizó una vez que los sujetos alcanzaron los 3648 mts y retornaron al campamento base (2800 m) a las 06:00 hrs.

Todas las muestras fueron obtenidas por enfermeros militares de la unidad a través de venopunción en el antebrazo utilizando el sistema Venoject®, siguiendo el procedimiento estipulado del laboratorio clínico del hospital militar de Santiago. El procesamiento analítico fue a través de la plataforma de automatización total LAB. CELL (Siemens) en interface con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP.

Para el hemograma la muestra se almacenó en BD Vacutainer con EDTA y procesó en equipo Advia 2120, mediante citometría de flujo, óptico-láser e impedancia.

Para la medición de cortisol y testosterona total: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación y se procesó en equipo Advia Centauro XP mediante Quimioluminiscencia. Para la testosterona libre: se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Fue procesada en equipo Inmulite 2000 (Siemens) y mediante Radio-Inmuno-Análisis (Contador gamma).

La presión arterial sistólica y diastólica se midió de forma manual mediante esfigmomanómetro (Blood Pressure kit, CEISO, USA, 2014). Se calculó la presión arterial

media (PAM) a través de la fórmula: $[(\text{sistólica} - \text{diastólica})/3] + \text{diastólica}$ (Acoltzin-Vidal et al., 2010). La medición de saturación de oxígeno fue con saturómetro portátil (Nonin CMS50D, USA, 2014).

Antes de las pruebas se midió el peso y la talla con una báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015). Se calculó la deshidratación a partir del porcentaje de pérdida de peso.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para cada análisis se testeó la normalidad de las distribuciones empleando el test de SHAPIRO-WILK. Se calculó el promedio y la desviación estándar para cada medición y fueron analizados utilizando el Statistical Package for the Social Sciences 15,0 software (SPSS Inc, USA). Para determinar si existían diferencias significativas entre el pre y post test se aplicó la prueba de t-Student pareada para las variables con distribución normal y el test de Wilcoxon para las variables que no tenían distribución normal. En todos los casos se consideró un nivel de confianza de 95% (valor $p < 0,05$).

RESULTADOS

La tabla 7 muestra los datos Pre y Post de saturación, presión arterial media (PAM), temperatura y peso con el valor de p.

Tabla 7:

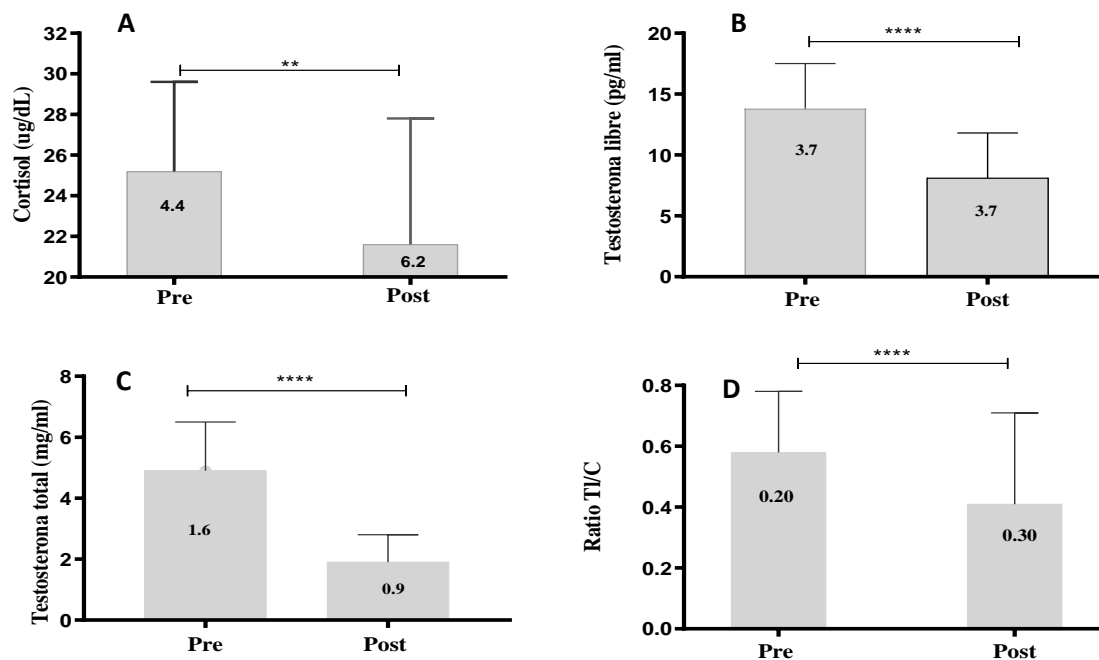
	Pre		Post		Pre vs Post
	Media.	DS	Media	DS	p
SaO2 (%)	96,79	1,85	94,93	2,21	0,001
PAM* (mmHg)	85,7	8,4	89,5	11,4	ns
Temperatura (°C)	35,9	0,36	36,3	0,38	0,023
Peso (Kg)	76,90	7,12	74,64	7,03	<0,0001

Cambios en la saturación de oxígeno, presión arterial media, temperatura y peso causados por la marcha a GA. (*=Presión arterial media).

A partir del cambio de peso se calculó el grado de deshidratación provocado por la marcha que fue del 2,9 % ($\pm 1,1$).

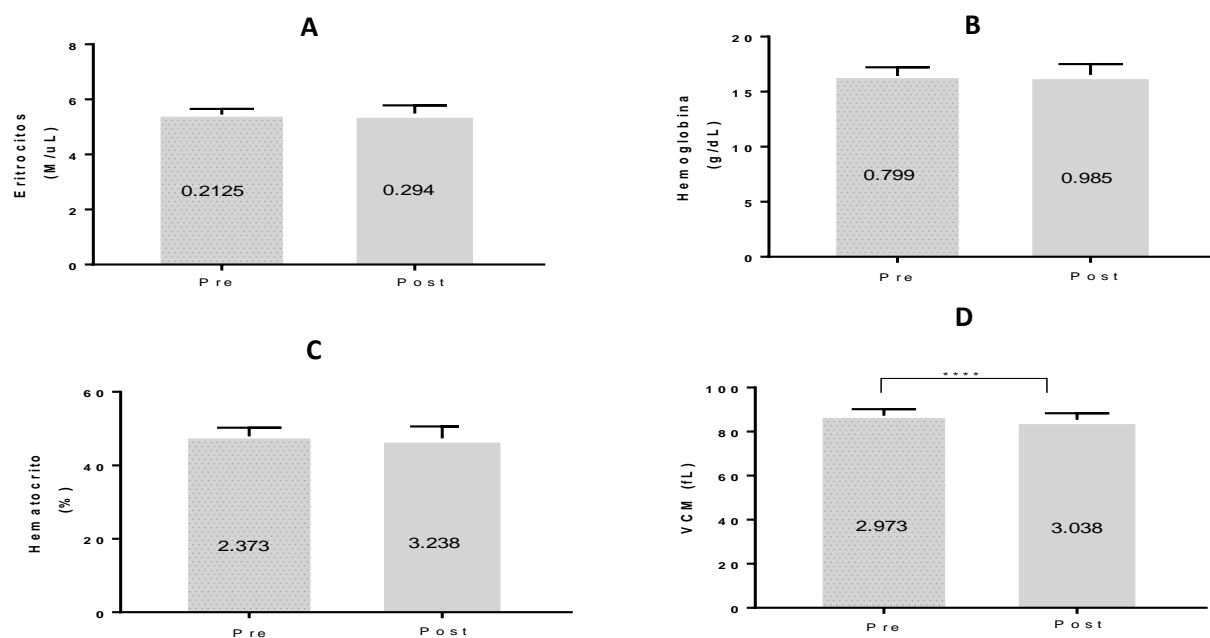
La figura 25 muestra los cambios de las hormonas cortisol, testosterona libre, testosterona total y cociente testosterona libre-cortisol. Los cambios son todos significativos de la situación Pre y Post marcha a GA.

Figura 25:



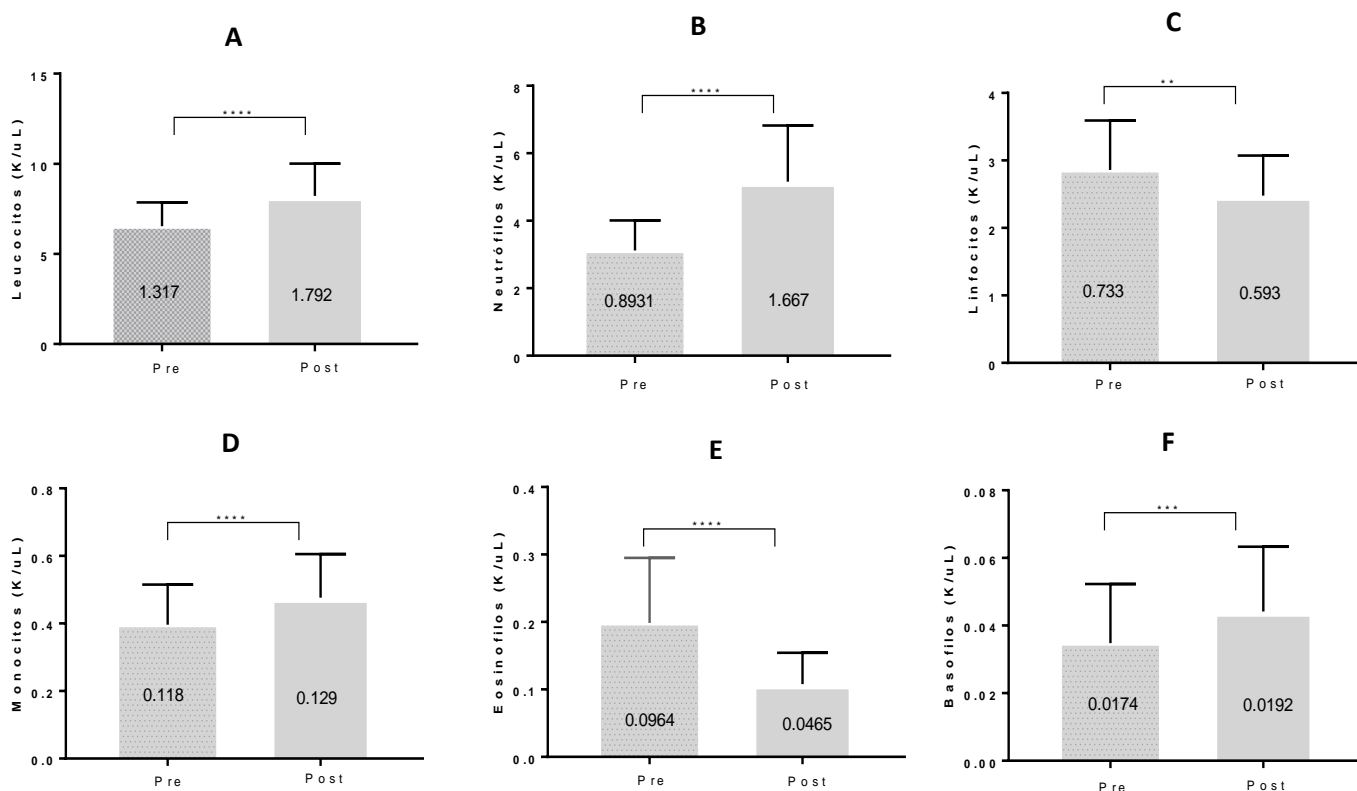
Cambios hormonales causados por la marcha invernal GA. (*= $p < 0,05$ **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$; ****= $p < 0,0001$).

La figura 26 Muestra los resultados de la situación Pre y Post eritrocitos, hematocritos, volumen corpuscular medio (VCM) y hemoglobina. Solamente se observan cambios significativos en el VCM entre la situación Pre y Post marcha en GA.

Figura 26:

Cambios en eritrocitos, hematocritos, VCM y hemoglobina causadas por la marcha invernal en GA. (*= $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$).

La figura 27 muestra los cambios en leucocitos, neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos, basófilos, siendo todos significativos entre la situación Pre y Post marcha en GA.

Figura 27:

Cambios en leucocitos, neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos causadas por la marcha invernal en GA
 (*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$; ****= $p < 0,0001$).

DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio es que la exposición gradual desde los 2800 m hasta los 3648 m en tropas especiales aclimatadas, impacta en los parámetros endocrinos (reducción del cortisol, testosterona total, testosterona libre y cociente TL-C) y de la serie blanca (aumento de leucocitos, neutrófilos, monocitos y basófilos y reducción de eosinófilos y linfocitos).

Al finalizar la marcha se observa una pérdida de peso significativa entre los valores pre y post, con una deshidratación del 2,9%, una desaturación de oxígeno significativa y un aumento significativo de la temperatura corporal posterior al término de la marcha (tabla 7).

Desde la perspectiva hormonal, en nuestros datos, se observa una caída significativa del cortisol tras la marcha (figura 25). Similares resultados han observado otros estudios, por una parte; una caída del cortisol salival desde los 1900 m, 3400 m y 4270 m durante una marcha

de 6 horas (Woods et al., 2012), como asimismo, una reducción del cortisol basal con ejercicios submaximales durante 15 días a 4450 m (McLean et al., 1989). Incluso después de 8 semanas de entrenamiento de montaña y después de una ascensión sobre 7546 m, el nivel basal de cortisol se redujo en comparación con la condición previa al entrenamiento. (Wang et al., 2001). Por su parte, Benso et al., (2007) no observaron ningún cambio en los niveles de cortisol después de exposiciones graduales desde el nivel del mar, a 5400 m y sobre 8000 m.

Parece ser que el factor que determina el comportamiento del cortisol en GA es el proceso de exposición a la altura. Cuando la exposición es aguda pareciera ser que el cortisol sube (Sutton et al., 1977; Zaccaria et al., 1998; Barnholt et al., 2006; Richalet., 2010). Sin embargo, diversos estudios refieren que si los sujetos han permanecido un tiempo de aclimatación a la altitud y realizan un esfuerzo físico disminuye el cortisol (McLean et al., 1989; Wang et al., 2001; Benso et al., 2007; Woods et al., 2012). En nuestro estudio los sujetos residieron 12 semanas en el campamento base situado a 2800 m y el cortisol se redujo después de la marcha a 3240 m. Pareciera ser que ha predominado el proceso de exposición y aclimatación a la altitud base y la respuesta al esfuerzo físico realizado, dando como resultado la reducción del cortisol.

La hormona testosterona disminuye con la marcha (figura 25), tanto de forma libre como total (unida a proteína), situación esperada y que respalda la condición de estrés causada por el ejercicio más la exposición a la hipoxia. Esta condición se refuerza aún más con el cociente testosterona libre/cortisol, donde se observa una marcada disminución (figura 25). Por otra parte, nuestros resultados no concuerdan con valores altos de testosterona en deportistas de alto rendimiento bajo una condición de sobrecarga excesiva o bien de sobre-entrenamiento (Gonzalez jurado et al., 2009; Hayes et al., 2015; Di Blasio et al., 2016). Similares resultados a nuestro estudio, fueron observados en condiciones de post-entrenamiento y post-escalada en alta montaña en comparación con la condición previa al entrenamiento (Wang et al., 2001).

También otros autores han observado disminuciones de la testosterona después de 1 y 3 meses posteriores a expediciones sobre 7800 mts. (Okumura et al., 2003; Benso et al., 2007; He et al., 2015). Nuestros datos de testosterona parecen ir en la dirección apuntada por la bibliografía que refiere disminuciones de testosterona en condiciones de altitud.

Con respecto a los parámetros de la serie roja, en eritrocitos (Et), hemoglobina (Hb) y hematocrito (Htt) (figura 26) no se observaron cambios tras la marcha, como era de esperar en sujetos con un periodo de aclimatación de 12 semanas. Esto concuerda con otros estudios que han observados que después de 21 días de entrenamiento en altitudes de 1816 m no encontraron diferencias significativas en la Hb y Htt. (Pottgiesser, Ahlgrim, Ruthardt, Dickhuth y Schumacher, 2009). Asimismo, concuerdan con estudios de Rietjens, Kuipers, Hartgens y Keizer (2002), quienes observaron que durante dos semanas con entrenamientos a 1500 m y 1850 m inicialmente producen aumentos significativos en Hb, Htt y VCM, sin embargo, el entrenamiento no aumentó significativamente el estado de estas variables a 2600 m, encontrándose en el extremo inferior del rango normal. Sin embargo, nuestros datos no concuerdan con Heinicke et al., (2005) y Hematy et al., (2014) quienes observaron aumentos en la serie roja en periodos de hasta 3 semanas en altitudes de 1800 m y 4000 m. Solamente el VCM (figura 26) tiene un descenso significativo entre los valores Pre y Post. Aunque no encontramos una respuesta satisfactoria para este cambio, estos resultados concuerdan con lo observado por Sewchand, Lovlin, Kinnear y Rowlands (1980) quienes reportaron una disminución apreciable (12-14%) de VCM en sujetos 5 h después de la exposición a la baja presión, pero volvió cerca de los valores de referencia después de 40 h.

La respuesta en la serie roja de nuestro estudio pareciera ser que estaría determinada fundamentalmente por el proceso de aclimatación a la altitud.

En relación a los parámetros de la serie blanca (figura 27) se aprecia un incremento significativo en leucocitos, neutrófilos, monocitos y basófilos y un descenso significativo en linfocitos y eosinófilos. Los cambios en las concentraciones de estas células del sistema inmune son interesantes, debido a que habitualmente se asocia el estrés con inmunosupresión, y por ende, un alto riesgo de adquirir enfermedades infecciosas (Hangalapura et al., 2006). Por su parte Thake, Mian, Garnham y Mian (2004) observaron resultados similares a nuestro estudio en algunas células de la serie blanca en pruebas de laboratorio en ejercicios de corta y larga duración equivalente a 4000 m, lo que resultó en una linfopenia relativa y una reducción de los eosinófilos. Asimismo, Niess et al., (2003) observaron aumentos después del ejercicio en neutrófilos que fueron significativamente más pronunciados a 1800 m que a nivel del mar.

Resulta interesante el estudio de Umeda et al., (2011) quienes observaron resultados significativos en diferentes funciones inmunes de neutrófilos después de realizar varios tipos de ejercicios refiriendo aumentos y descensos en sus cambios al equilibrio entre factores externos (intensidad y estilo del ejercicio) y factores internos (por ejemplo, fatiga y dolor físico).

Aunque se trata de un recuento global de células blancas y no hemos profundizado en estudios de subpoblaciones, nuestros datos básicamente coinciden con la literatura en cuanto a los cambios esperables tras un ejercicio de estas características en situación de aclimatación.

Por último, sería interesante incluir una valoración psicológica con el propósito de identificar el adecuado manejo del estrés en aquellas personas que presentaron menores cambios en las hormonas cortisol y testosterona, o bien otros métodos de cuantificación de estrés simpático como la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) (Naranjo et al., 2015).

CONCLUSIONES

La marcha invernal en GA para unidades de operaciones especiales aclimatadas presento cambios endocrinos con disminución del cortisol, testosterona libre y total. Una condición de estrés por la marcha en GA también afectó al ambiente anabólico/catabólico, lo que se ve reflejado en una disminución significativa en el cociente testosterona libre/cortisol. No se observaron cambios hematológicos. Se observaron cambios significativos en algunas células de la serie blanca.

5.3 ESTUDIO NÚMERO 3:

“EFECTOS HORMONALES Y HEMATOLÓGICOS EN UNA MARCHA INVERNAL DE BAJA ALTITUD EN MILITARES CHILENOS”

Nieto, C., Cajigal, J., Mainer, E., & Naranjo, J. (2018). Efectos hormonales y hematológicos en una marcha invernal de baja altitud en militares Chilenos. *Archivos de Medicina del Deporte*. En prensa, aceptado el 18-10-2018.

INTRODUCCIÓN

En el Ejército de Chile las tropas de montaña deben estar integradas por personal con un alto grado de especialización y preparación que le permitan desarrollar respuestas rápidas y eficaces en diferentes escenarios bajo determinados agentes estresores.

Uno de los agentes estresores más comunes en el entorno de las operaciones en montaña del Ejército de Chile es la fatiga ocasionada por la marcha en condiciones similares a las de combate en cuanto a equipo y circunstancias climatológicas adversas. Pero a veces, a este elemento se le suma su realización en condiciones de altitud con las influencias que ésta tiene en el rendimiento físico de los sujetos (Bergeron et al., 2012). El hecho de que en tropas de montaña estos dos factores a menudo aparezcan combinados hace que sea difícil diferenciar la influencia de cada uno de ellos.

En 2010 una revisión retrospectiva del Ejército de Estados Unidos (Hall et al., 2010) puso de manifiesto una enorme reducción de las lesiones causadas por frío desde la guerra de Corea (6300 lesiones) hasta las operaciones en Afganistán (sólo 19), atribuyendo este cambio al mejor conocimiento de las circunstancias y a las mejoras en el equipamiento de los combatientes.

Por otra parte, el entrenamiento para la altitud clásicamente tiene lugar mediante largas estancias de aclimatación. Sin embargo, dado que las operaciones militares a realizar en estos entornos suelen contar con escaso tiempo de preparación, sería interesante conocer de qué forma puede ser más eficiente esta preparación. En 2014 una revisión de la literatura realizada

por el Ejército británico (Heil et al., 2014) analiza la bibliografía deportiva respecto a este problema para tratar de sacar conclusiones aplicables al entrenamiento militar. Dado que en todas estas estrategias es necesario combinar la mejor adaptación fisiológica en el menor tiempo posible con los entrenamientos a las intensidades apropiadas, es importante conocer el efecto que ambos factores (altitud e intensidad) tienen sobre variables fisiológicas.

Muza realizó en 2007 una revisión sobre los efectos de las exposiciones diarias intermitentes a la hipoxia para favorecer la aclimatación, con la finalidad de ver su posible utilidad en el entrenamiento militar y concluyó que se necesitan exposiciones de al menos una hora y media, durante al menos una semana y a altitudes iguales o superiores a 4000 m. Concluye también en su revisión que el efecto de exposiciones intermitentes a menor altitud no está documentado.

Pero las exposiciones intermitentes a gran altitud (GA) tienen efectos agudos sobre algunos marcadores biológicos, como la testosterona (He et al., 2015). Dado que el entrenamiento de soldados debería ir asociado a tareas militares específicas (Nieto y Cárcamo, 2016) adquiere gran importancia valorar los cambios fisiológicos que puedan producirse en determinadas circunstancias (como la altitud) pero durante la realización de actividades propias de las unidades militares.

El problema está en que la bibliografía no aporta estudios en estas circunstancias, y si recurrimos a la bibliografía de entrenamiento deportivo, encontramos información muy dispar en cuanto a los valores sanguíneos de determinadas hormonas debido a las condiciones y protocolos tan diferentes. Así, tras ejercicio en grandes altitudes hay autores que reportan aumentos del cortisol (Zacaría et al., 1998; Barnholt et al., 2006, Sutton et al., 1977) y otros no encuentran cambios (McLean et al., 1989; Benso et al., 2007).

Respecto al tiempo de exposición en grandes altitudes, unos autores han observado que mediante ascensos graduales los niveles de cortisol en reposo no cambian (Woods et al., 2012), mientras que otros reportan que los sujetos expuestos rápidamente a condiciones hipóxicas (ya sea en una cámara hipobárica o usando vehículo o helicópteros para ascender rápidamente) sí presentan aumentos del cortisol (Sutton et al., 1977; Larsen et al., 1997; Richalet et al., 2010)

Una situación parecida se da con la testosterona en altitud. Hay estudios que refieren una disminución de la testosterona en un programa de entrenamiento de escalada de montaña (Wang et al., 2001) mientras que otros encuentran un aumento de los valores de testosterona en situaciones de exposición aguda a la altura (Gonzales, 2011).

Pero no solo son importantes los cambios aislados del cortisol o la testosterona ya que hace tiempo que en el campo deportivo el cociente testosterona libre / cortisol se utiliza como indicador de la carga de entrenamiento (Adlercreutz et al., 1986; Schelling Calleja-González, Terrados, 2013), siendo un marcador de sobre-entrenamiento incluso en militares sometidos a cargas extremas (Tanskanen et al., 2011). Se trata, por tanto, de una herramienta útil para intervenir en la planificación antes de que se produzcan alteraciones patológicas en los deportistas (Schelling et al., 2013; Martínez, Calvo, Marí, Inchaurregui, Orella y Biescas, 2010; Urhausen et al., 1995; Vervoorn et al, 1992).

Es importante que el estudio de las adaptaciones fisiológicas a la altitud (o a cualquier otra variable) en militares esté asociado a tareas específicas, no existiendo estudios con estas características. Por tanto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios producidos en valores hormonales y de la serie roja en militares de operaciones de montaña del Ejército de Chile durante una marcha invernal nocturna con equipo completo de combate en una situación de baja altitud (BA).

MATERIAL Y MÉTODOS

ASPECTOS ÉTICOS

La presente investigación fue aprobada por el comité de ética en investigación en ciencias de la salud, Hospital Militar de Santiago, respetando las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013)

Los militares fueron informados del procedimiento, y aceptaron su participación voluntaria a través de la firma de un consentimiento.

POBLACIÓN DE ESTUDIO

Treinta y dos militares hombres (edad $26,3 \pm 4,50$ años, peso $75,1 \pm 7,6$ kg) realizaron una marcha invernal nocturna en la localidad de Lonquimay, Chile, con altitud inicial de 902 m y ascendiendo hasta los 1648 m. Los soldados realizaron la marcha con un equipamiento de 28 kg, y emplearon 5 h 38 min desde el campamento base (902 m) hasta los 1648 m y regreso por el mismo itinerario. La distancia recorrida fue 24,2 km con una pendiente media del 6,5%. La temperatura ambiental media durante la marcha fue de 2° C.

Todos los sujetos llevaban residiendo 12 semanas en el campamento base situado a 902 m, con anterioridad a la realización de la marcha.

TOMA DE MUESTRAS SANGUÍNEAS

Se obtuvieron dos muestras de sangre de cada sujeto a la misma hora, al inicio de la marcha (Pre) y una vez retornados al campamento base (Post) para su posterior análisis. La muestra Pre se obtuvo a las 06:00 en ayunas y durante ese día los sujetos estuvieron en el campamento base realizando planificación en aula sobre la ruta de marcha, sin ningún tipo de actividad física hasta el inicio de marcha, a las 00:00 (media noche). La muestra Post se tomó una vez que los sujetos retornaron al campamento base a las 06:00.

Todas las muestras fueron obtenidas por enfermeros militares de la unidad a través de venopunción en el antebrazo utilizando el sistema Venoject®, siguiendo el procedimiento estipulado del laboratorio clínico del Hospital Militar de Santiago. El procesamiento analítico fue a través de la plataforma de automatización total LAB CELL (Siemens) en interfase con los equipos Advia 2120, Advia 1800 y Advia Centauro XP.

Para la serie roja la muestra se almacenó en BD Vacutainer con EDTA y procesó en equipo Advia 2120, mediante citometría de flujo, óptico-láser e impedancia. A los objetos de este estudio se consideró el número de hematíes (Hmt), hemoglobina (Hb), hematocrito (Htto) y volumen corpuscular medio (VCM).

Para la medición de cortisol y testosterona total (TT): se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación y se procesó en equipo Advia Centauro XP mediante quimioluminiscencia. Para la testosterona libre (TL): se utilizó BD Vacutainer con gel separador y activador de la coagulación. Fue procesada en equipo Inmulite 2000 (Siemens) y mediante Radio-Inmuno-Análisis (contador gamma).

Todas las muestras de sangre fueron enviadas al laboratorio clínico del Hospital Militar de Santiago inmediatamente después de su obtención y transportadas por personal de dicho laboratorio conforme a la normativa de transporte y almacenaje de fluidos biológicos. La presión arterial sistólica y diastólica se midió de forma manual mediante esfigmomanómetro (Blood Pressure kit, CEISO, USA, 2014). Se calculó la presión arterial media (PAM) a través de la fórmula: $[(\text{sistólica} - \text{diastólica})/3] + \text{diastólica}$ (Acoltzin-Vidal et al., 2010). La medición de saturación de oxígeno fue con saturómetro portátil (Nonin CMS50D, USA, 2014).

Se calculó una presión atmosférica inicial de 663 mmHg (Hematy et al., 2014) y se midió la saturación de oxígeno (SaO₂) con un dispositivo portátil (Nonin CMS50D, USA, 2014). El peso se midió con una báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015) y la temperatura timpánica se tomó antes y después de la marcha utilizando un termómetro infrarrojo. (Boeringher, Alemania, 2015).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos son presentados como media y desviación estándar (DE) y fueron analizados utilizando el Statistical Package for the Social Sciences 15,0 software (SPSS Inc, USA). Para cada análisis se testeó la normalidad de las distribuciones empleando el test de Shapiro-Wilk.

Se calculó el promedio y la desviación estándar para cada medición. Para determinar si existían diferencias significativas entre el Pre y Post test se aplicó la prueba de t-Student pareada para las variables con distribución normal y el test de Wilcoxon para las variables que no tenían distribución normal. En todos los casos se consideró un nivel de confianza de 95% (valor $p < 0,05$).

Adicionalmente, la diferencia entre variables se valoró calculando el tamaño de efecto (TE) a través de la prueba *d* de Cohen (Cohen, 1988). Los valores de *d* se consideraron como: muy pequeño ($d < 0,1$); pequeño ($d = 0,1$ a $0,2$); moderado ($d = 0,21$ a $0,5$); grande ($d = 0,51$ a $0,8$) y muy grande ($d > 0,8$).

RESULTADOS

En la tabla 8 se muestran los datos de las variables analizadas correspondientes a la muestra Pre y Post, junto con los valores de la *d* de Cohen y el tamaño del efecto. Todos los cambios resultan significativos, salvo la PAM, SaO₂ y el cortisol.

Tabla 8:

Variable	Pre-test	Post-test	TE	<i>d</i>
PAM	96,9 ± 3,4	96,8 ± 3,0 ^(NS)	0,06	Muy pequeño
Peso (Kg)	75,2 ± 7,6	74,1 ± 7,58*	0,22	Moderado
SaO ₂ (%)	97,4 ± 2,99	97,1 ± 2,7 ^(NS)	0,11	Pequeño
Temperatura (°C)	35,5 ± 0,43	35,9 ± 0,36*	1,02	Muy grande
Cortisol (uM/L)	0,75 ± 0,12	0,72 ± 0,17 ^(NS)	0,26	Moderado
TL (uM/L)	43,4 ± 11,5	24,7 ± 14,1*	1,84	Muy grande
TT (uM/L)	11,2 ± 3,8	4,94 ± 3,22*	2,31	Muy grande
TLC	60,3 ± 19,7	36,4 ± 22,3*	1,44	Muy grande
Eritrocitos (M/uL)	5,11 ± 0,24	5,05 ± 0,23*	0,26	Moderado
Hemoglobina (g/dL)	15,2 ± 0,73	14,9 ± 0,76*	0,42	Moderado
Hematocrito (%)	45,3 ± 1,9	43,5 ± 1,98*	0,89	Muy grande
VMC (fL)	88,7 ± 2,22	86,4 ± 2,3*	1,01	Muy grande

TE, tamaño de efecto calculado con la *d* Cohen; Peso en kg; SaO₂: saturación de oxígeno (%); T°: Temperatura; TL: Testosterona Libre; TT: Testosterona Total; TLC: Testosterona Libre/Cortisol; VMC: Volumen Corpuscular Medio; DE: Desviación estándar; TE: Tamaño de Efecto; el valor *d* fue $< 0,1$ (muy pequeño), $0,1$ a $< 0,2$ (pequeño), $0,2$ a $< 0,5$ (moderado), $0,5$ a $< 0,8$ (grande) y $\geq 0,8$ (muy grande) y para la *t*-student * $p < 0,05$; NS: no significativo. PAM: presión arterial media.

DISCUSIÓN

El principal aporte de este estudio es que, tras una marcha invernal con equipo de combate, en baja altitud y con un desnivel de 746 m, los soldados de una unidad de operaciones en montaña presentan un descenso significativo de los valores plasmáticos de TL y TT sin cambios en los valores de cortisol.

Respecto al cortisol, hay descritos cambios por efecto de la altura, pero sólo a altitudes moderadas o altas, y de forma que parece ser que el factor que determina el comportamiento del cortisol en esas altitudes es el proceso de exposición. Cuando la exposición es aguda se ha observado que el cortisol sube (Zacaría et al., 1998; Barnholt et al., 2006; Sutton et al., 1977; Larsen et al., 2010) pero si las exposiciones son graduales no se observan cambios en los niveles de cortisol (Benso et al., 2007). Cuando a estas alturas se realiza ejercicio físico tras exposiciones agudas, se observa un descenso del cortisol previamente elevado, tanto en saliva (Wood et al., 2012) como en sangre (McLean et al., 1989). A bajas altitudes (como las que forman parte de este estudio) no hay descritos efectos sobre el cortisol.

Por otra parte, la respuesta del cortisol con el ejercicio es muy variable dependiendo de la hora del día, del tipo de ejercicio y de la fatiga acumulada (además de otros factores) por lo que podría aumentar, disminuir o permanecer igual (Suarez, Javierre, Ventura, Garrido, Barbany y Segura, 2007).

Por tanto, dado que la baja altitud por sí misma no tiene ningún efecto sobre el cortisol, el que en nuestro grupo no haya variado el cortisol indicaría (en términos generales) que la tarea concreta realizada no habría supuesto un estímulo estresor lo suficientemente intenso como para elevar los niveles de cortisol en respuesta al mismo. Sin embargo, esta explicación resulta poco consistente con el esfuerzo que supone a estos soldados, dentro de su adiestramiento, este tipo de ejercicio teniendo en cuenta que la marcha se realiza a una velocidad media considerable para el equipo que se transporta y que tiene lugar durante la noche, a bajas temperaturas y con un desnivel cercano a los 750 m.

Con respecto al descenso encontrado en los valores de testosterona, no está claro en la bibliografía cuál es la respuesta normal en grandes altitudes, si es que existe algún efecto debido directamente a la altitud. La mayoría de los trabajos consultados determinan niveles de testosterona durante entrenamientos en alta montaña (Wang et al., 2001) o bien el efecto a largo plazo de la exposición a grandes alturas (Muza, 2007; Benso et al., 2007; Okamura et al., 2003). En cualquier caso, no encontramos en la bibliografía ningún efecto atribuible a las altitudes bajas como las de este estudio.

Por otra parte, con respecto al ejercicio físico, un gran número de trabajos publicados emplean valores de testosterona salival con resultados muy dispares, lo que concuerda con el metanálisis de Hayes et al., (2015) que encontraron que los efectos son muy dependientes del tipo de ejercicio, el diseño del estudio y el tiempo de muestreo. Otra revisión reciente (Matos, Howl, Ferreira y Fardilha, 2018) revela que el ejercicio de alta intensidad produce una reducción en la actividad del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas con el consiguiente descenso de los valores de testosterona, mientras que encuentra que los datos publicados para ejercicios de intensidad moderada son poco consistentes. Con arreglo a esta revisión, nuestros datos serían más coherentes con la carga de trabajo que representa esta tarea y con el nivel de fatiga generado en los sujetos.

El cociente TL/C muestra una marcada disminución con valores similares a los encontrados en deportistas bajo condiciones de altas cargas de trabajo o sobre-entrenamiento (Hayes et al., 2015; Matos et al., 2018; Di Blasio et al., 2016).

Con respecto a los parámetros de la serie roja, todos ellos (Hmt, Hb, Htto, y VCM) presentaron tras la marcha disminuciones significativas y con un TE moderado para Hmt y Hb y muy grande para Htto y VCM (tabla 8). En este apartado, los datos existentes también apoyan la idea de que estas altitudes no inducen en sí misma cambios hematológicos. Así, Rietjens et al., (2002) establece tras un seguimiento de 3 años en triatletas de alto nivel, que se necesitan altitudes de al menos 2000 m para poder atribuir cambios hematológicos a la altitud, siendo frecuentes los trabajos que refieren estos cambios en altitudes superiores (Heinicke et al., 2005; Hematy et al., 2014). En nuestra opinión, los cambios de la serie roja podrían estar condicionados por un efecto de hemodilución ya descrito también en corredores de maratón (Traiperm, Gatterer y Burtcher 2013). Por lo que respecta al descenso observado en el VCM, concuerda con lo ya descrito por Sewchand et al., (1980) al encontrar que cualquier exposición aguda a altitud producía un descenso del VCM entre el 12 y 14%.

La principal limitación de este estudio se encuentra en el hecho de no poder diferenciar el efecto de la carga de trabajo físico realizada, de los agentes estresores adicionales (como el frío, la falta de sueño o la fatiga acumulada) y del posible efecto del cambio de altitud, si bien este último factor puede razonablemente descartarse en función de la bibliografía. También

constituye una limitación no haber controlado la ingesta de líquido durante la marcha, aunque este aspecto queda algo paliado por el hecho de haber controlado el grado de deshidratación a través de la doble pesada.

CONCLUSIONES

Una marcha invernal con equipo de combate, en baja altitud y con un desnivel de 746 m, produce un descenso significativo de los valores plasmáticos de Testosterona (libre y total) en soldados de una unidad de operaciones en montaña.

No se observan cambios en los valores de cortisol.

Se detecta una reducción significativa de hematíes, hemoglobina, hematocrito y VCM que podrían deberse a un efecto de hemodilución.

5.4 ESTUDIO PILOTO NÚMERO 4:

“UNA NUEVA PRUEBA BASADA EN LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA PRIVACIÓN DEL SUEÑO EN LAS TROPAS DE MONTAÑA ESPECIALES DEL EJÉRCITO CHILENO: UN ESTUDIO PILOTO”

Este artículo se encuentra en revisión en la revista Archivos de Medicina del Deporte.

INTRODUCCIÓN

El logro de una misión en el campo de batalla es resultado de la suma de múltiples factores, además, en la preparación de soldados deben crearse las condiciones para resistir el cansancio, la incertidumbre y el miedo, propios de la condición humana. Esta dimensión requiere la necesidad de disponer de sujetos con alta preparación y buenas condiciones físicas que permitan el óptimo desempeño bajo situaciones de estrés. Los estresores más comunes en el entorno del Ejército de Chile son la hipoxia, hipotermia, hipertermia y privación de sueño.

El sueño es un estado natural caracterizado por la disminución de la actividad motora voluntaria y un descenso en la respuesta a estímulos con una posición corporal estereotípica.

Cada ser humano cuenta con un reloj biológico interno y es el responsable de mantener el orden en los ritmos de alerta, temperatura y producción hormonal, provocando los ciclos circadianos. Un retraso en la secreción de melatonina impacta la función cognitiva, somática y neurometabólica. (Frank, M. 2006).

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) es la parte del sistema nervioso que se encarga de controlar aquellas funciones que son de carácter involuntario. A su vez el SNA está compuesto por dos sistemas: el simpático y el parasimpático (Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). La actividad simpática provoca excitación cardíaca, vasoconstricción, disminución de la función gastrointestinal y constricción de esfínteres entre otros, siendo pues, la encargada de liderar todas aquellas funciones relacionadas con algún tipo de mecanismo de estrés. Por otro lado,

la actividad parasimpática provoca la respuesta opuesta a la simpática, por lo que el sistema nervioso parasimpático es aquel que predomina en situaciones de relajación. Las dos ramas del SNA deben estar en continuo equilibrio, pudiéndose ver alterado por estados patológicos y/o anómalos tanto físicos como psíquicos (Aubert et al., 2003; Cachadiña et al., 2012).

Las últimas tendencias en el estudio del sobre-entrenamiento deportivo apuestan por el rol del SNA como indicador de estados de sobrecarga. En las últimas décadas, se ha observado el aporte de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) como un método para determinar la implicación del SNA en estados de sobre-entrenamiento, fatiga y asimilación de cargas de trabajo (Cachadiña et al., 2012). En un entrenamiento de resistencia, la carga de entrenamiento (CE) depende de la intensidad, la duración y la frecuencia del ejercicio físico (Friden, Lieber, Hargreaves, Urhausen, 2003). La CE se define como el producto del volumen por la intensidad del entrenamiento (Halson, 2014). La CE se divide a su vez en carga de entrenamiento externa (CEE) y carga de entrenamiento interna (CEI). La CEE está relacionada con la cantidad de entrenamiento realizado, mientras que la CEI está asociada a la respuesta psico-fisiológica individual de cada deportista (Impellizzeri, Rampinini y Marcora, 2005), incluso ante la misma CEE. De este modo, el entrenamiento físico, entendido desde la perspectiva militar, depende de la realización de numerosos ejercicios tácticos que exigen altas prestaciones de resistencia, velocidad, fuerza, coordinación y elasticidad. En general se podría resumir que hay dos grandes requisitos físicos para entender el impacto del entrenamiento físico para combatir; estos son: los componentes de fuerza, resistencia, agilidad y velocidad (CEE) y el segundo es la capacidad para mantener las capacidades físicas a través del estrés catabólico de las operaciones de combate prolongado (Henning, Park y Kim, 2011) (CEI)

Uno de los estresores aplicados en el entrenamiento habitual para soldados que pertenecen a tropas especiales en montaña, son las marchas con privación de sueño. Se caracterizan por el desplazamiento por escenarios con altitud moderada (Bartsch et al., 2008) siendo una tarea militar complementaria a otra acción principal, como una acción ofensiva o defensiva.

Hasta donde sabemos, el estudio del efecto de la privación de sueño y la condición física, utilizando la VFC no ha sido abordado experimentalmente en forma combinada en poblaciones militares de estas características, propias del continente latinoamericano.

Se ha observado que una noche de privación del sueño afectaría el rendimiento de resistencia de 30 minutos en treadmill a una intensidad del 60% del VO₂max y alteraría las respuestas cardio-respiratorias, termorreguladoras y perceptuales al ejercicio (Oliver, Costa, Laing, Bilzon y Walsh, 2009). Los mismos autores concluyen que una noche de privación de sueño disminuyó el rendimiento de resistencia con un efecto limitado sobre la función de estimulación, cardiorrespiratoria o termorreguladora.

Otro estudio realizado en las Fuerzas Armadas de Croacia (Jovanović, Sporiš, Šopar, Harasin y Matika, 2012) para Operaciones Especiales, reportaron la influencia del entrenamiento básico en tareas de tiro específicas en condiciones de privación del sueño. Los resultados demostraron que el entrenamiento básico tuvo un impacto positivo en la reducción de los efectos de privación del sueño en las tareas de disparo. Los datos obtenidos sugieren que durante el entrenamiento básico (62 días), se produjo la adaptación al estrés y la mejora de las habilidades de manejo de armas, lo que contribuye significativamente a mejores resultados de disparo en condiciones estresantes, principalmente en términos de falta de sueño.

Asimismo, Tyyskä, Kokko, Salonen, Koivu y Kyröläinen (2010) investigaron la asociación entre la aptitud física, la duración del sueño y las respuestas hormonales durante un entrenamiento de campo militar de 15 días practicando maniobras ofensivas (MO) en una zona rural. En promedio, los sujetos dormían durante 6.20 h por día, pero el ritmo de sueño se alteraba debido al servicio de guardia. Estos resultados indican que las MO causan reacciones de estrés muy individuales, a pesar de los bajos niveles de condición física y déficit de energía. El estudio concluye que las respuestas hormonales observadas se debieron principalmente a la falta de sueño y la baja aptitud física.

Desde la perspectiva hormonal e inmunológica Ricardo et al., (2009) determinaron el efecto de una noche sin dormir sobre los índices inmunes en respuesta al ejercicio extenuante posterior. El estudio concluye que un período de 30 horas de privación de sueño no altera el tráfico de leucocitos, la desgranulación de los neutrófilos o las respuestas de la S-IgA en reposo. Por otra parte, la concentración plasmática de cortisol aumentó después 30 min de ejercicio.

Por otra parte hay un estudio que reporta cambios en marcadores biológicos y en la respuesta vagal, realizado en soldados (Huovinen, Tulppo, Nissilä, Linnamo, Häkkinen y Kyrolainen, 2009). Los autores concluyen que los cambios en la frecuencia cardíaca y en algunos indicadores de VFC se correlacionaron positivamente con la relación de testosterona y cortisol.

El estrés simpático en deportistas de élite fue abordado por Naranjo et al., (2015) quien propuso la utilidad de 2 nuevos índices: el índice de estrés (SS) y la relación simpático-parasimpático (relación S: PS) en jugadores de fútbol profesionales a partir de variables convencionales de VFC.

Sin embargo, en la bibliografía revisada, no hemos encontrado un estudio que integre el efecto combinado de la privación de sueño en la ejecución de una marcha militar utilizando la VFC como indicador de estrés simpático y parasimpático.

Se plantea el presente estudio piloto con el doble objetivo de: a) identificar el efecto de la privación de sueño sobre en una prueba de esfuerzo que simule una marcha militar mediante los cambios en la VFC en tropas especiales en montaña del Ejército de Chile; y b) proponer como piloto, un test sencillo para valorar el papel de la privación de sueño como agente estresor en militares de tropas especiales.

MATERIAL Y MÉTODOS

8 militares de tropas especiales en montaña realizaron un test de marcha simulada en cinta rodante con equipo militar de combate. Permanecieron una noche en privación de sueño durante un ejercicio de planificación en aula y volvieron a realizar el test al día siguiente. Los militares evaluados pertenecían a una patrulla de tropas especiales con 5 años de experiencia juntos en adiestramiento en montaña invernal y estival. Todos se ofrecieron voluntarios, fueron informados del procedimiento y firmaron una carta de consentimiento. El estudio contó con la aprobación del comité de ética en investigación en ciencias de la salud del Hospital Militar de Santiago y se realizó respetando todas las disposiciones de la declaración de Helsinki (WMA Declaration of Helsinki, 2013).

Se realizó un test incremental de marcha caminando en cinta rodante con 16,5 kg de peso en equipamiento individual de combate. La prueba tenía 7 estadios de 3 minutos de duración con pendientes del 1, 3, 5, 7, 8, 9 y 10 % y con una velocidad constante de 5 km/h. Para valorar la VFC se tomó un registro latido a latido durante 5 min en posición decúbito dorsal antes del test de marcha (Pre) y otro justo al finalizar (Post); la primera sesión tuvo lugar sin privación de sueño y al día siguiente, a la misma hora, se repitió el procedimiento con privación de sueño. Las pruebas en ambos días comenzaron a las 06:00 am.

PROCEDIMIENTO

Todos los sujetos llevaron un pulsómetro Polar V800 (Polar, Kempele, Finland) con banda cardiaca. Los datos de este dispositivo fueron descargados mediante cable USB utilizando la correspondiente aplicación de la marca Polar FlowSync. Para el análisis de la VFC se utilizó la serie de tiempo de los intervalos RR proporcionada por la aplicación y que fue posteriormente analizada con el software Kubios HRV (University of Eastern Finland, Kuopio, Finland) (Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-Aho y Karjalainen 2014).

Las variables generales de la prueba de esfuerzo utilizadas en los diferentes análisis fueron: la frecuencia cardiaca de reposo (FCr), tomada antes de comenzar la prueba; la frecuencia cardiaca máxima (FCmax); la frecuencia cardiaca de trabajo (FCt) para cada escalón del test; la intensidad relativa (%) obtenida mediante la ecuación de Karvonen et al. (1957) y la potencia (Watts) calculada a partir de la velocidad, la inclinación y la masa corporal con el equipo.

El hecho de utilizar una pendiente hace que para calcular el trabajo y la potencia realizados en un tapiz rodante haya que tener en cuenta el componente vertical de la velocidad. La forma más habitual de tener en cuenta esto es mediante el seno del ángulo formado por el tapiz con la horizontal del suelo (McArdle et al., 2004) o sustituyendo el $\sin \alpha$ por el porcentaje de inclinación del tapiz dividido por 100 (Mora Rodríguez R, 2009), ya que para valores muy pequeños de α , el valor numérico del $\sin \alpha$ es muy próximo al de la pendiente expresada en tanto por uno, pudiéndose utilizar la siguiente ecuación: (Naranjo et al., 2015).

$$P = m * g * v * p * 0,278$$

Donde v es la velocidad expresada en km/h; g es la aceleración media de la gravedad (9,8 m/s²); m es la masa del sujeto en kg y p es el porcentaje de inclinación del tapiz dividido por 100.

De acuerdo con la Task Force (The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996) y con Camm et al., (1996) las variables de VFC utilizadas para el análisis en el dominio del tiempo fueron RR: intervalo de tiempo entre dos ondas R (ms); SDNN: desviación estándar de los intervalos RR; RMSSD: raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes (ms); LnRMSSD: logaritmo neperiano de la RMSSD; pNN50: porcentaje de intervalos RR adyacentes que difieren más de 50 ms (%); siguiendo a Tulppo et al., (1996) se determinaron en el gráfico de dispersión de Poincaré los ejes transversal (SD1) y longitudinal (SD2) y de acuerdo con Naranjo et al. (2015) se calculó el Stress Score (SS) como el inverso del SD2 multiplicado por 1000 y la Ratio simpático-parasimpático (R-S/Ps) como el cociente entre el SS y SD1.

A efectos de análisis del balance autonómico se utilizó el logaritmo neperiano del SS (LnSS) de actividad simpática y el LnRMSSD como indicador de actividad parasimpática.

Antes de las pruebas se midió el peso y la talla con una báscula Tanita (Tanita Ironman BC1500, Japón, 2015).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un estudio descriptivo presentando los datos como promedios y desviaciones estándar con su correspondiente coeficiente de variación (CV) y fueron analizados utilizando el Statistical Package for the Social Sciences 15,0 software (SPSS Inc, USA).

Para el contraste de hipótesis, se testó la normalidad de las distribuciones empleando el test de SHAPIRO-WILK, por tratarse de una muestra menor a 50 sujetos, y se utilizó el test de LEVENE para establecer la igualdad de varianzas.

Para el análisis de los datos de VFC se utilizó un ANOVA de comparación múltiple para las 4 distribuciones (datos Pre y Post sin privación de sueño y Pre y Post con privación de sueño) utilizando como prueba post-hoc el test de BONFERRONI.

Para el análisis de las variables generales de las dos pruebas (FCr, FCmáx, FCt, intensidad y potencia) se utilizó una prueba t-Student para muestras pareadas. En todos los casos se consideró el nivel de significación en $p < 0,05$.

Dado el reducido tamaño de la muestra no cabía esperar resultados significativos con la estadística convencional de contraste de hipótesis, por lo que para analizar los cambios entre las diferentes variables se utilizó también la estadística progresiva cualitativa propuesta por Hopkins. Para ello se calculó el tamaño del efecto (TE) usando las siguientes unidades: <0.2 = trivial, $0.20-0.59$ = pequeño; $0.6-1.2$ = moderado; ≥ 1.2 = grande. Se utilizó como umbral de efecto (Mínimo Cambio Apreciable) el valor $d = 0.2$ (Hopkins et al., 2009).

RESULTADOS

La tabla 9 muestra las medias y desviaciones estándar para la edad, FC max, FC reposo, FC trabajo e intensidad. Y los valores de p y d al comparar en cada variable la situación sin privación de sueño (situación 1) con la situación en privación de sueño (situación 2). Ningún cambio resulta estadísticamente significativo y los tamaños de efecto son triviales o pequeños.

La tabla 9 muestra los datos de FC (media, DE y CV) en el test de marcha simulada sin y con privación de sueño de 24 horas. Se muestra también la potencia en vatios y la pendiente de cada estadio:

Tabla 9:

Sujeto	Edad	Peso kg.	Fc. Max	Fc. Reposo1	Fc. Reposo2	Fc. Trabajo1	Fc. Trabajo2	Intensidad 1	Intensidad 2
1	32	80,3	188	48	44	138	133	0,64	0,62
2	33	76,9	187	53	52	150	143	0,72	0,67
3	31	78,1	189	51	52	130	126	0,57	0,54
4	31	80,7	189	40	40	132	128	0,62	0,59
5	27	71,7	193	84	52	140	130	0,51	0,55
6	24	81,2	196	56	52	125	127	0,49	0,52
7	28	83,7	192	64	61	166	162	0,80	0,77
8	22	91,5	198	49	50	145	146	0,64	0,65
Media	28,50	80,7	191,50	55,69	50,45	140,75	136,88	0,63	0,61
DS	3,96	5,70	3,96	13,40	6,36	13,04	12,59	0,10	0,08
				p	=0,33	p	=0,55	p	=0,86
				d	=0,53	d	=0,30	d	=0,12

Las medidas sin privación de sueño están identificadas con (1) y las medidas con privación de sueño están identificadas con (2). Los valores de p y d corresponden a la comparación entre las situaciones 1 y 2. (d <0.2= trivial, 0.20-0.59= pequeño; 0.6-1.2= moderado; >1.2= grande.)

La tabla 10 muestra los datos de FC (media, DE y CV) en el test de marcha simulada sin y con privación de sueño de 24 horas. Se muestra también la potencia en vatios y la pendiente de cada estadio.

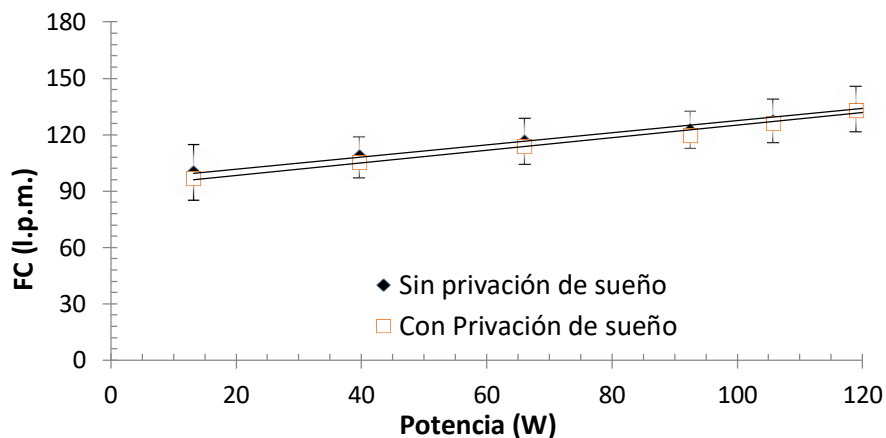
Tabla 10:

Fc (l/m)									
				Sin Privación de sueño			Con Privación de sueño		
Estadio	Potencia (Watt)	km/h	Pendiente (%)	Media	DS	CV	Media	DS	CV
1	13,21	5	1	100,125	14,623	15%	96,75	11,498	12%
2	39,64	5	3	108,75	10,195	9%	105,25	8,225	8%
3	66,07	5	5	116,5	12,107	10%	114,125	9,833	9%
4	92,49	5	7	122,5	9,827	8%	119,875	7,200	6%
5	105,71	5	8	127,5	11,352	9%	126,25	10,512	8%
6	118,92	5	9	133,75	12,116	9%	133	11,288	8%
7	132,13	5	10	140,75	13,036	9%	136,875	12,586	9%

Datos de frecuencia cardiaca (FC) correspondientes a los estadios de la prueba. (DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación).

En la figura 28 se muestra la evolución de la FcT en relación a la potencia de cada escalón en ambos test.

Figura 28:



Datos de FC de trabajo en relación a la potencia de cada estadio. (0): Datos sin privación de sueño. (Δ): Datos con privación de sueño.

La tabla 11 muestra los resultados Pre y Post de las medidas de VFC sin y con privación de sueño. Los valores de p estaban todos por encima de 0,8, por lo que en la tabla 11 se muestran los valores de d para estimar el tamaño del efecto.

Tabla 11:

		SIN PRIVACION DE SUEÑO			CON PRIVACION DE SUEÑO		
		PRE	POST	d	PRE	POST	d
RR	MEDIA	1124,50	825,00	1,49	1207,59	870,81	1,99
	DS	231,31	172,02		160,03	178,59	
	CV	0,21	0,21		0,13	0,21	
SDNN	MEDIA	88,08	57,15	0,99	109,77	58,75	1,99
	DS	29,51	32,98		25,52	25,71	
	CV	0,34	0,58		0,23	0,44	
RMSSD	MEDIA	80,69	31,86	1,44	92,85	35,73	2,09
	DS	38,20	29,78		25,63	28,93	
	CV	0,47	0,93		0,28	0,81	
LnRMSSD	MEDIA	4,26	3,03	1,48	4,49	3,24	2,02
	DS	0,61	1,05		0,30	0,95	
	CV	0,14	0,34		0,07	0,29	
pNN50	MEDIA	44,38	16,49	1,29	54,36	14,31	2,62
	DS	21,45	21,65		10,24	20,38	
	CV	0,48	1,31		0,19	1,42	
SD1	MEDIA	57,23	25,47	1,18	65,79	25,25	2,09
	DS	27,05	26,66		18,16	20,61	
	CV	0,47	1,05		0,28	0,82	
SD2	MEDIA	109,26	75,71	0,86	139,46	78,48	1,80
	DS	37,77	40,07		35,89	31,78	
	CV	0,35	0,53		0,26	0,40	
SS	MEDIA	10,22	16,33	1,10	7,61	14,46	1,88
	DS	3,63	7,48		2,04	5,26	
	CV	0,36	0,46		0,27	0,36	
LnSS	MEDIA	2,27	2,69	0,99	2,00	2,61	1,90
	DS	0,36	0,50		0,26	0,38	
	CV	0,16	0,18		0,13	0,15	
Ratio	MEDIA	0,28	2,45	1,10	0,13	1,56	1,31
	DS	0,31	3,65		0,06	2,14	
	CV	1,11	1,49		0,43	1,37	

RR: intervalo RR (ms). **SDNN:** desviación estándar de los intervalos RR. **RMSSD:** raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes (ms). **LnRMSSD:** logaritmo neperiano de la RMSSD. **pNN50:** número de pares adyacentes en el intervalo RR que difieren más de 50 ms dividido entre el número total de intervalos RR (%). **SD1:** eje transversal del gráfico de dispersión de Poincaré. **SD2:** eje longitudinal del gráfico de dispersión de Poincaré. **Índice de estrés (SS):** inverso del SD2, multiplicado por 1000. **LnSS:** logaritmo neperiano del índice de estrés. **Ratio simpático-parasimpático (R-S/Ps):** cociente entre el SS y SD1. (d <0.2= trivial, 0.20-0.59= pequeño; 0.6-1.2= moderado; ≥1.2= grande.)

Las figuras 29 y 30 muestran los cambios del indicador simpático LnSS y parasimpático LnRMSSD en ambas pruebas.

Figura 29

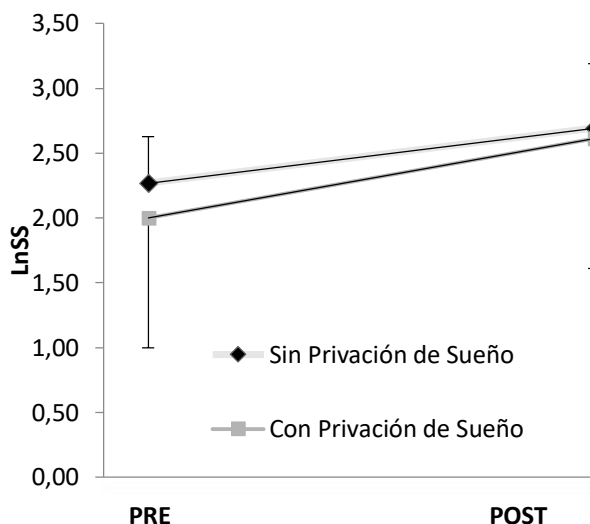
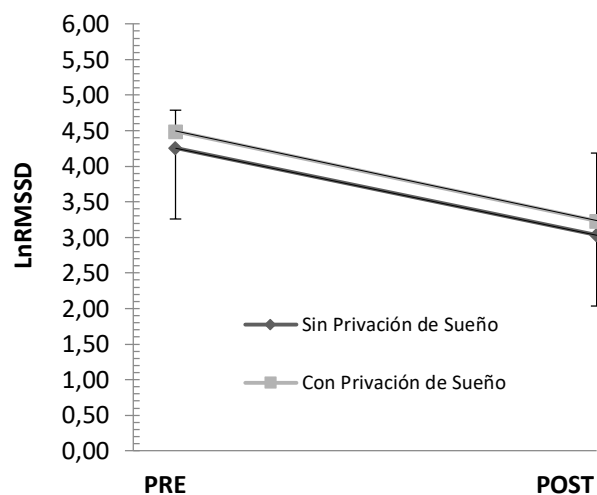


Figura 30



LnSS: logaritmo neperiano del índice de estrés. **LnRMSSD:** logaritmo neperiano de la raíz cuadrada de la media de las diferencias de la suma de los cuadrados entre intervalos RR adyacentes (ms).

$d < 0.2$ = trivial, $0.20-0.59$ = pequeño; $0.6-1.2$ = moderado; ≥ 1.2 = grande.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este estudio es que el estrés físico y fisiológico que supone la marcha simulada en tapiz rodante es el mismo con y sin privación de sueño.

Como se esperaba, no hay diferencia significativa entre los datos Pre y Post en ninguna de las situaciones, sin embargo, el tamaño del efecto es muy importante ($d=0,99$ para el LnSS sin privación de sueño; $d=1,44$ para Ln RMSSD sin privación de sueño; $d=1,9$ para el LnSS con privación de sueño y $d=2$ para LnRMSSD con privación de sueño), indicando que los cambios son altamente relevantes.

A nivel cardiovascular en la prueba de esfuerzo realizada, la exposición a 24 h de privación de sueño no produjo cambios ni significativos (p-valor) ni relevantes, dado que el tamaño del efecto es pequeño para la FC de reposo ($d=0,53$) y FC de trabajo ($d=0,30$) y trivial para la

intensidad ($d=0,12$) (tabla 9). Por otra parte, en nuestro estudio la intensidad calculada fue de un 63% para la prueba 1 y de un 61% para la prueba 2 (tabla 9), siendo la misma intensidad utilizada por Oliver et al., (2009). Por lo tanto, en nuestro estudio las variables generales (FC e intensidad) medidas durante el ejercicio sin privación de sueño no se vieron afectados por la falta de sueño. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos de Martin & Haney (1982), por lo que parece ser que la privación de sueño a corto plazo tiene poco efecto sobre la función cardio-respiratoria durante una prueba de esfuerzo submaximal, al menos a la intensidad estudiada.

Dado que las intensidades fueron estimadas de forma indirecta a partir de la ecuación de Karvonen et al., (1957), con el propósito de añadir un valor objetivo a las cargas realizadas se utilizó el cálculo de la potencia alcanzándose en la prueba una intensidad de 132,13 watts (Tabla 10).

Desde la perspectiva de la VFC, al comparar las medidas Pre y Post estaríamos estimando la carga interna que representa la prueba realizada. En ambas pruebas se observa una caída de las variables que indican actividad parasimpática (SDNN, RMSSD, LnRMSSD, pNN50 y SD1) y un aumento de las que indican actividad simpática (SD2, SS y LnSS), teniendo en cuenta que el valor del SD2 es inverso a la actividad simpática (Tabla 11). Por otra parte, el valor de la ratio S: Ps es normal en reposo y muestra un predominio simpático tras la realización del test de marcha simulada, tanto con privación de sueño como sin privación de sueño (Tabla 11). Por lo tanto, estamos observando la respuesta esperada tras una carga de ejercicio. Ahora bien, la cuestión se centra en si la respuesta del SNA a esta carga de trabajo es diferente cuando los sujetos están en privación de sueño o, dicho de otro modo, si la carga interna que representa esta prueba es mayor tras una privación de sueño de 24 horas.

En este sentido, no se observa significación estadística en el p-valor para las variables de VFC en ninguna de las dos pruebas estudiadas (con y sin privación de sueño) (tabla 11), posiblemente por el reducido tamaño de la muestra al ser un estudio piloto. Sin embargo, el tamaño del efecto es relevante en las dos variables utilizadas para valorar el estado simpático-parasimpático: el LnSS ($d=0,99$ sin privación de sueño y $d=1,90$ con privación de sueño) y el LnRMSSD ($d=1,48$ sin privación de sueño y $d=2,02$ con privación de sueño) (tabla 11).

En nuestro estudio, el coeficiente de variación (CV) para el LnrMSSD se incrementa con la prueba de esfuerzo tanto sin privación de sueño (14% y 34%) como con privación de sueño (7% y 29%). (tabla 11). Si bien Buchheit (2014) observó fluctuaciones diarias de esta variable en reposo de forma individual en torno a un 10-20%, en nuestro estudio los cambios en reposo representan valores inferiores, entre el 7% y el 14%.

El CV del LnSS, sin embargo, muestra cambios menores con el ejercicio tanto sin privación de sueño (16% y 18%) como con privación de sueño (13% y 15%). Aunque no hay referencias en la literatura para el CV de esta variable, se encuentra dentro del margen referido por Buchheit para el LnRMSSD.

Tyyskä et al., (2010) propuso que las reacciones de estrés son individuales cuando se asocian con la aptitud física, duración del sueño y las respuestas hormonales durante un entrenamiento militar. En este sentido, nuestros resultados apuntan que en poblaciones de estas características podrían ser relevantes los datos que reflejen el estrés y la recuperación en la modulación simpática y parasimpática utilizando valores de VFC.

Pensamos que sería de gran utilidad disponer de un test sencillo que permitiera evaluar el efecto de la privación de sueño como agente estresor. Nuestros datos apuntan a que la prueba de esfuerzo propuesta induce cambios relevantes en el equilibrio simpático-parasimpático, pero que son exactamente los mismos cuando los sujetos están en privación de sueño. Por otra parte, los datos generales de la prueba (intensidad y frecuencia cardíaca de trabajo) son los mismos con y sin privación de sueño.

Basándonos en estos datos y en el CV que presentan estas variables, se propone la utilización de esta prueba de la siguiente forma:

- 1- Realizar prueba de esfuerzo a velocidad constante con los incrementos de pendiente descritos y repetir al día siguiente tras 24 horas de privación de sueño.
- 2- La FC de trabajo alcanzada al final de la prueba no debe diferir más de un 10% en ambas pruebas (Tabla 10; CV=9% para la FC)
- 3- El estrés simpático inducido por la prueba de esfuerzo (LnSS) debe ser el mismo con y sin privación de sueño, aceptando una diferencia máxima del +15% (tabla 11;

CV=15% para el LnSS).

- 4- La caída de modulación parasimpática (LnRMSSD), inducida por la prueba de esfuerzo debe ser la misma con y sin privación de sueño, aceptando una diferencia máxima de -30% (tabla 11; CV= -29%).

Podría ser interesante añadir a nuestra propuesta, una valoración psicológica con el propósito de identificar el adecuado manejo del estrés en aquellos militares con un buen nivel de estrés simpático.

La principal limitación en nuestro estudio radica en el reducido tamaño de la muestra al ser un estudio piloto; pero hemos establecido como prioridad el seleccionar a sujetos integrantes de la misma patrulla en Operaciones Especiales en montaña, con experiencia de 5 años en este tipo de adiestramiento, que han tenido experiencias previas con diferentes tipos de agentes estresores y competencias para enfrentar diversos tipos de ambientes extremos. De esta forma hemos garantizado: a) que los sujetos sometidos al estudio tienen un entrenamiento importante en la adaptación a agentes estresores (incluida la privación de sueño), con lo que su respuesta nos puede servir claramente como referencia para valorar a otros sujetos; y b) que la muestra, aunque pequeña, es suficientemente homogénea en cuanto a su entrenamiento y aptitudes.

CONCLUSIÓN

La prueba de esfuerzo diseñada con las características de un test simulado de marcha en tapiz rodante, no presentó diferencias en la respuesta física y fisiológica al estar privados de sueño en 24 horas.

Se propone un test sencillo para evaluar el efecto que tiene la privación de sueño como agente estresor.

VI. DISCUSIÓN GENERAL DE LOS CUATRO ESTUDIOS

DISCUSIÓN GENERAL DE LOS CUATRO ESTUDIOS

De los estudios realizados, nuestro objetivo fue valorar, identificar y comparar el impacto endocrino, cardiovascular, hematológico e inmunológico de los agentes estresores hipotermia, hipoxia hipobárica y privación de sueño en tropas especiales del Ejército de Chile.

La identificación de cambios fisiológicos en unidades que se adiestran en ambientes extremos, permite diseñar estrategias de entrenamiento para tareas militares específicas. En la periodización físico-militar, de lo que se trata es de poder mantener un estado que permita adquirir competencias físicas a lo largo de una temporada de adiestramiento y, además, prevenir lesiones, disponiendo de herramientas de cuantificación y monitorización de la carga de entrenamiento (CE). Contar con una valoración de marcadores biológicos permitirá para nuestra institución poder dimensionar la intensidad, duración y la frecuencia del ejercicio físico, con la particularidad de que estas tropas requieren un grado de disponibilidad inmediata por la naturaleza de sus misiones.

Nuestros hallazgos permitirán desarrollar capacidades militares fundamentalmente materializadas en el incremento en la movilidad táctica, propias de una condición física específica para este tipo de ambientes extremos.

Uno de los principios del modelo pedagógico institucional implica la adquisición de competencias físicas que permitan hacer frente y resolver situaciones concretas del campo donde se desempeñe la función militar. Así, en la planificación curricular, el desarrollo del cuerpo académico y el control, evaluación y progresión de los alumnos, serán aspectos relevantes de analizar de acuerdo a nuestros hallazgos de los cuatro estudios.

6.1 PLANIFICACIÓN CURRICULAR Y DESARROLLO DEL CUERPO ACADÉMICO

La programación de la CE es una estrategia común en muchos deportes en el contexto de la periodización. Mantener un alto estado de forma física a lo largo de un proceso de entrenamiento previniendo lesiones y disponiendo de una herramienta de cuantificación y monitorización de la CE es de vital importancia (Halsen, 2014). La utilización de un

instrumento que permita programar la CE y su evolución a lo largo del proceso de adiestramiento militar, podría ayudar en la planificación curricular en los cursos de OEs que requieren formar competencias especiales y capacidades fisiológicas específicas por la naturaleza de sus misiones.

El campo de batalla es el escenario donde se manifiesta el adecuado proceso de instrucción físico-militar de las tropas, observar lo ocurrido en distintas guerras, específicamente en relación a la hipotermia, permite obtener conclusiones relevantes sobre el comportamiento fisiológico de los soldados en estos ambientes (Hanson & Goldman, 1969; Hall et al., 2010).

Así, algunos estudios previos han perseguido objetivos similares con la intención de valorar el impacto en determinados agentes estresores. Para la hipotermia, Rav-Acha et al., (2004) valoró las exposiciones diarias en climas fríos y su relación con diversas lesiones. Nuestros datos mostraron que este agente estresor en agua fría, causó estrés agudo por hipotermia en la totalidad de los sujetos, evidenciado por la disminución en la temperatura central, cambios cardiovasculares, endocrinos, antropométricos e inmunológicos. Como se mencionó, los resultados del presente estudio concuerdan con los realizados en el curso de supervivencia del Ejército norteamericano (Morgan et al., 2000) donde, a pesar de que los estresores eran diferentes, la respuesta hormonal es la misma.

En el curso de comandos y por la experiencia de los propios mandos, las tasas de desertión voluntarias producto de las inmersiones agudas en agua fría se debían, entre otros aspectos, a que no se tenía conocimiento de la respuesta fisiológica y por lo tanto, los tiempos de exposición aguda en cada curso dependían de aspectos subjetivos (entre otros). Nuestros hallazgos identificaron que el cortisol y ACTH se elevan más en aquellos sujetos que toleran menos tiempo en agua fría. Lo anterior, podría indicar que los cambios hormonales serían una respuesta específica a la hipotermia.

Aquí, el asunto interesante es nuestro hallazgo sobre el tiempo de exposición, y como hemos visto en la discusión del estudio, otros Ejércitos se vienen ocupando de estas temáticas desde hace tres décadas. La planificación curricular y el desarrollo del cuerpo académico se deberían orientar a que los alumnos posean las competencias individuales que los habiliten

para cumplir una función específica. En nuestros datos se aprecia que los tiempos de exposición tienen un estándar que correlaciona con la composición corporal (Figura 22). También muestran que contar con una mayor adiposidad corporal hizo que los sujetos que permanecieron más tiempo en hipotermia tenían un mayor contenido de porcentaje graso, lo que les permitió alcanzar mayores tiempos de exposición en el agua fría.

Desde la perspectiva académica y del planeamiento curricular, nuestros datos mostraron que existen diferencias individuales en el tiempo límite de tolerancia a la hipotermia en agua fría y estas diferencias no se explican por la condición física. En lo que se refiere a este agente estresor, los actuales estándares físicos, que son requisito de acceso al curso, no aportan ninguna información que sirva como mecanismo de selección para esta competencia.

Estos hallazgos podrían permitir la correcta prescripción de exposiciones estáticas, agudas, sin vestuario al agua fría desde los 10 °C en los contenidos académicos en el curso de comandos del Ejército de Chile. Este es el primer estudio en nuestra institución que valora la exposición aguda en hipotermia, por lo que el perfeccionamiento académico y las futuras capacitaciones podrán tener en cuenta estos estándares para prescribir inmersiones y combinarlas con otros factores de evaluación y desempeño docente.

También para el caso de la hipoxia, otros Ejércitos estudiaron adaptaciones a la altitud simultáneamente con estrategias de entrenamiento, obteniendo información sobre aclimatación fisiológica en el menor tiempo posible (Heil & Keenan, 2014). Nuestros datos permitieron identificar el efecto fatigante de ambas marchas invernales nocturnas cambiando bruscamente de altitud para el ascenso y el descenso. Los experimentos mostraron que en gran altitud (GA) los sujetos presentaron cambios endocrinos con disminución del cortisol, testosterona libre y total, lo que se vio reflejado en una disminución significativa en el cociente testosterona libre/cortisol. Sin embargo, en el estudio de baja altitud (BA) disminuyó la hormona testosterona libre y total, pero a diferencia del estudio en GA, no existieron cambios en el cortisol.

Estos hallazgos concuerdan con Suarez et al., (2007) en que la respuesta con el ejercicio es muy variable dependiendo de la hora del día, del tipo de ejercicio y de la fatiga acumulada

por lo que podría aumentar, disminuir o permanecer igual. Nuestros datos de cortisol a GA también concuerdan con McLean et al., (1989) y Woods et al., (2012). Pareciera ser que el factor que determina su comportamiento es el proceso de exposición a la altitud combinado a otros factores como los descritos por Suarez et al., (2007). Esto resulta interesante si lo comparamos con lo observado con la testosterona y con el cociente testosterona libre/cortisol en ambos estudios. Desde la perspectiva de los diseños curriculares y de la prescripción de CE para marchas nocturnas invernales, en estas hormonas no está claro en la bibliografía cuál es la respuesta normal en GA o, si es que existe algún efecto debido directamente a la altitud.

Como se mencionó en la discusión de ambos estudios, la mayoría de los trabajos consultados determinan niveles de testosterona durante entrenamientos en alta montaña (Wang et al., 2001) o bien el efecto a largo plazo de la exposición a GA (Muza, 2007; Benso et al., 2007; Okamura et al., 2003). Las diferencias encontradas en el estudio de GA con los de BA no podemos atribuirlos a lo revisado en la literatura. Sin embargo, desde el punto de vista del ejercicio físico, un gran número de trabajos publicados emplean valores de testosterona con resultados muy dispares, lo que concuerda con el metanálisis de Hayes et al., (2015) que encontraron que los efectos son muy dependientes del tipo de ejercicio, el diseño del estudio y el tiempo de muestreo. Pareciera ser que los resultados del estudio de BA serían más coherentes con la carga física que representa esta tarea y con el nivel de fatiga generado en los sujetos. A diferencia del estudio de GA, en el que sería el efecto combinado de la carga física con la altitud.

Resulta entonces, atribuible a los cuerpos docentes y académicos, que los diseños de carga física para marchas invernales nocturnas tengan en cuenta la monitorización de la CE. Es importante, que los instructores y mandos utilicen los diferentes principios de sobrecarga y adaptación biológica para diseñar programas de periodización con el principal objetivo de optimizar dichas adaptaciones (Windt & Gabbett, 2017). Además, poder predecir la CE que los soldados van a realizar en las tareas de campo podría ayudar a prevenir situaciones de sobre-exceso de fatiga y con ello problemas en el alistamiento operacional, perdiendo la eficiencia de combate de la unidad. Es sabido que, en las tropas de montaña del Ejército de Chile, el perfeccionamiento académico y capacitación de los mandos que sirven en unidades de OEs no cuentan con bibliografía científica especializada en investigación para el combate

realizada en nuestro país, al ser una disciplina muy joven en América Latina. Por lo que tener estos hallazgos es un acercamiento prometedor para sus aplicaciones prácticas, que podrían derivar en programas de entrenamiento específicos para este tipo de unidades. Por ejemplo, la actualización de los recursos bibliográficos en planificación de marchas invernales con equipo de combate en GA y BA.

Desde la perspectiva hematológica la hemoglobina (Hb), hematocrito (Htt) y hematíes se redujeron en BA pero no cambiaron en GA. Solamente el VCM presentó cambios en ambas exposiciones agudas en BA y GA. Es interesante observar, la caída de estas variables en la marcha de BA en comparación a los de GA. Esto podría ser debido a que, al finalizar la marcha se observaron pérdidas de peso significativo entre los valores Pre y Post, con una deshidratación del 1,5 % ($\pm 0,7$) para BA y 2,9 % ($\pm 1,1$) para GA y un aumento de la temperatura corporal posterior al término de la marcha.

Esto concuerda con otros estudios que han observados que después de 21 días de entrenamiento en altitudes de 1816m no encontraron diferencias significativas en la hemoglobina y hematocrito. (Pottgiesser et al., 2009). Asimismo, concuerdan con estudios de Rietjens et al., (2002), quien observó que durante dos semanas con entrenamientos a 1500m y 1850 m inicialmente producen aumentos significativos en Hb, Htt y VCM, sin embargo, el entrenamiento no aumentó significativamente el estado de estas variables a 2600 mts, encontrándose en el extremo inferior del rango normal. Sin embargo, nuestros datos no concuerdan con Heinicke et al., (2005) y Hematy et al., (2014) quienes observaron aumentos en la serie roja en periodos de hasta 3 semanas en altitudes de 1800 m y 4000m.

En nuestros estudios eran esperables estos resultados al estar los sujetos, con un periodo de aclimatación de 12 semanas. Es el grupo de GA quienes presentaron mayores valores de Et, Hb y Hct en comparación con el grupo de BA, siendo esta diferencia lógica al estar realizando la marcha a mayores altitudes.

En la actualidad, los conflictos poseen múltiples dimensiones. Algunos de ellos se encuentran en la dimensión tradicional, que implica el conflicto entre estados (Libro de la Defensa Nacional de Chile, 2017c). Si observamos esta conflictividad desde el punto de vista territorial deducimos que los escenarios altiplánicos (Norte de Chile) con altitudes que llegan

a los 4000 m serán el medio de empleo de las unidades de OEs. Esta característica requiere estrategias de entrenamiento y adaptabilidad en el menor tiempo posible. Nuestros hallazgos permitirán contribuir en la preparación de soldados para estos entornos, centrando las estancias en altura para asegurar la aclimatación fisiológica con el mayor grado de alistamiento operacional, sin perder, como se ha mencionado, la eficiencia de combate.

6.2 CONTROL, EVALUACIÓN EDUCATIVA Y PROGRESIÓN DE LOS ALUMNOS.

Hemos visto que los resultados de los estudios de hipotermia e hipoxia hipobárica, permiten tener un vínculo con la planificación curricular y el desarrollo del cuerpo académico del recurso humano institucional. En el estudio número cuatro, se planteó un estudio piloto con el principal hallazgo de que el estrés físico y fisiológico que supone la marcha simulada en tapiz rodante es el mismo con y sin privación de sueño. No existieron diferencias significativas entre los datos Pre y Post en ninguna de las situaciones, sin embargo, el tamaño del efecto es muy importante, indicando que los cambios son altamente relevantes.

Como se ha mencionado, para el Ejército, un modelo pedagógico expresa el ideal de formación; este interpreta, diseña y ajusta la realidad pedagógica que recoge la historia de formación militar, desde las exigencias educativas del presente, de acuerdo con los cambios de las ciencias y la profesión militar y proyecta el futuro. (Libro de la Defensa Nacional de Chile, 2017a).

Podríamos sugerir entonces, que el fundamento para un modelo pedagógico institucional (basado en investigación sobre el comportamiento de este tipo de agentes estresores), estaría enmarcado en competencias esenciales que caracterizan el quehacer durante el adiestramiento para que se planifiquen y evalúen sus procesos, que deberían ser ejecutados en el grado que establece la doctrina y respecto de los que se verifican los niveles de logro alcanzados acorde con estándares definidos.

Estos estándares, permiten el control y evaluación educativa y constituyen un patrón para identificar aptitudes y competencias físicas y fisiológicas para unidades de OEs. Nuestros datos del estudio N°4 proponen estandarizar un test incremental de marcha caminando en

cinta rodante con 16,5 kg de peso en equipamiento individual de combate. Con 7 estadios de 3 minutos de duración y con pendientes del 1, 3, 5, 7, 8, 9 y 10 % y con una velocidad constante de 5 km/h. Registrar la VFC durante 5 min en posición decúbito dorsal antes del test de marcha (Pre) y justo al finalizar (Post); la primera sesión debe tener lugar sin privación de sueño y al día siguiente, a la misma hora, se debe repetir el procedimiento tras 24 horas de privación de sueño.

Los anteriores estudios de hipotermia e hipoxia hipobárica, a diferencia de este, fueron con instrumentos de valoración invasivos. Resulta interesante que el análisis individual del rendimiento o parámetros de fatiga utilizando la VFC como instrumento de valoración de la carga interna (CI) es reciente en la literatura científica deportiva. Asimismo, la incorporación de la estadística progresiva cualitativa propuesta por Hopkins, el cual ha permitido el desarrollo de una metodología de cuantificación de los cambios individuales, a través del tamaño del efecto (Hopkins, 2017; Muñoz, 2017).

Estos cambios, pueden ser monitorizados utilizando un umbral del efecto basado en el mínimo cambio apreciable (Hopkins et al., 2009). Cuando los cambios son monitorizados a nivel grupal, no cabe duda de que el CV utilizado refiere a la variación inter-sujeto (Muñoz, 2017). Sin embargo, aunque este mínimo cambio apreciable debe calcularse de forma grupal para analizar la VFC y debido al ruido presente en esta (Buchheit, 2014), otros autores han calculado el mínimo cambio apreciable individual para realizar un análisis sujeto a sujeto (Flatt, Esco, Nakamura y Plews., 2017). En nuestra opinión, esta última opción podría ser una metodología sugerible para la valoración de la propuesta de test físico.

Este enfoque es especialmente útil en el análisis en deporte y, más en concreto, con respecto a la VFC, debido a la variabilidad inter-día e intra-grupo que presentan los datos (Muñoz, 2017). Creemos que la importancia de este tipo de evaluación reside en que, en poblaciones militares, especialmente en este tipo de unidades con sujetos altamente entrenados, un cambio significativo no tiene por qué ser práctico y, de forma inversa, un cambio no significativo podría ser práctico (Hopkins, 2002). Resulta entonces, un desafío para un comandante, diseñar cargas de trabajo pensando en el estrés catabólico de operaciones

prolongadas en que la privación de sueño impacta la CI en la respuesta psico-fisiológica de los sujetos.

Para el caso de las marchas invernales con equipamiento individual y en terrenos compartimentados, el hecho de contar con instrumentos de valoración de la CI, podría permitir identificar los días de recuperación de una unidad de soldados de OEs. En esta línea en el campo deportivo, encontramos que una completa restauración de la actividad cardíaca parasimpática tardaría entre 24 y 72h en volver a estados basales (Stanley, D'Auria, y Buchheit, 2015; Muñoz 2017). Las recuperaciones rápidas (por ejemplo, antes de 24h) del LnrMSSD han sido atribuidas al aclaramiento de las catecolaminas en el plasma sanguíneo, mientras que recuperaciones más largas (por ejemplo, hasta 72h) pueden deberse a los cambios en el volumen plasmático que, cuando es restaurado a niveles basales o superiores, estimula la actividad parasimpática como resultado del aumento de la sensibilidad barorrefleja (Flatt & Esco, 2016; Muñoz, 2017). En nuestros datos observamos una caída del LnRMSSD y el CV se incrementa con la prueba de esfuerzo tanto sin privación de sueño (14% y 34%) como con privación de sueño (7% y 29%), es decir, en 24 hrs. (tabla 11). Nos resulta interesante identificar el control de la carga de entrenamiento, especialmente en militares, porque los principios del entrenamiento deportivo (en este caso en privación de sueño) se ven claramente afectados.

Nos interesó las publicaciones en la literatura en que la metodología más utilizada es la medición de la VFC inmediatamente después del ejercicio para valorar la forma en la que se recuperan los valores. Sin embargo, hemos observado que no existe una metodología de trabajo, existiendo estudios en laboratorio (Goldberger, Le, Lahiri, Kannankeril, Ng y Kadish, 2006; Kaikkonen, Hynynen, Mann, Rusko y Nummela, 2012) junto a otros que valoran sesiones completas de entrenamiento (Pichot et al., 2000; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen y Tulppo, 2007; Plews, Laursen, Kildring y Buchheit, 2014; Schumann, Botella, Karavirta y Häkkinen, 2017) o sesiones diseñadas específicamente en campo (Seiler, Haugen y Kuffel, 2007). Tampoco hemos encontrado estudios en militares en este tipo de diseño de laboratorio. Sin embargo, en la bibliografía revisada no se ajustan las variables de intensidad y volumen para que la carga obtenida sea la misma, con lo que no hay información respecto al comportamiento de la VFC frente a la carga de entrenamiento en su conjunto. En nuestro

diseño la carga fue la misma con y sin privación de sueño y la intensidad calculada fue de un 63% para la prueba 1 y de un 61% para la prueba 2 (tabla 10).

Durante la ejecución de un ejercicio se produce un cambio en la predominancia parasimpática hacia un mayor control (casi exclusivo) simpático (Sandercock & Brodie, 2006; White & Raven, 2014, Muñoz 2017). Cuando el ejercicio cesa, este proceso se revierte, dando lugar a una disminución de la FC (Michael, Graham, & Davis, 2017, Muñoz 2017).

Como ha sido explicado en el estudio, recientemente han sido propuestas dos variables interesantes en el campo deportivo en futbolistas profesionales, derivadas del estudio del gráfico de Poincaré: el SS y el ratio-S/Ps (Naranjo et al., 2015; Muñoz 2017). Al igual que ocurría con el LnrMSSD, los sujetos de esta investigación mostraron valores diferentes a los ya publicados en estas variables. Nuestros resultados muestran un mayor SS promedio para la prueba sin privación de sueño [Pre (10.22 ± 3.63) y Post (16.33 ± 7.48)] que con privación de sueño [Pre (7.61 ± 2.04) y Post (14.46 ± 5.26)] (tabla 11)

Sin embargo, la relación entre la modulación simpática-parasimpática expresada a través del ratio-S/Ps, fueron diferentes entre los sujetos de los dos estudios anteriores en la prueba sin privación de sueño [Pre ($0,28 \pm 0.31$) y Post ($2,54 \pm 3,65$)] y con privación de sueño [Pre ($0,13 \pm 0.06$) y Post ($1,56 \pm 2,14$)] respectivamente (tabla 11).

Unido a las explicaciones anteriores, la modulación simpática también podría estar afectada por el agente estresor de la privación de sueño combinado con un esfuerzo submaximal y no hemos encontrado en la literatura una respuesta que en privación de sueño la carga simpática haya sido menor.

El uso de percentiles en los valores de VFC como una referencia puede ser de utilidad para detectar zonas de riesgo o alarma. Así, Naranjo et al. (Naranjo et al., 2015) definen en su estudio a partir del percentil 90 como una zona de riesgo para las variables SS y R-S/Ps, mientras que la zona entre el percentil 75 y 90 podría ser interpretada como una zona de alarma (Naranjo et al., 2015). Los valores encontrados en esta Tesis Doctoral fueron en la zona de alarma (sobre todo en los valores Post), y no encontramos referencias en la literatura para poblaciones militares en privación de sueño, sin embargo, la utilidad de este enfoque

sigue siendo la misma. Estas diferencias apoyan la necesidad de un tratamiento individualizado de los datos en cada contexto para cada tipo de población específica ya que, de utilizar las zonas propuestas por los autores en los sujetos de esta población, siempre estarían en zona de alarma e incluso, por encima de la zona de alerta en muchos casos individuales (Muñoz, 2017).

Al igual que con la variable LnRMSSD, proponemos el logaritmo natural del SS cuya caída inducida por la prueba de esfuerzo, debe ser la misma con y sin privación de sueño, aceptando una diferencia máxima de +15% (tabla 11 CV= +15%).

En nuestra opinión, los cambios en la VFC tienen más que ver con la asimilación individual de la carga de trabajo que con la CE administrada (Naranjo et al., 2015; Muñoz, 2017), considerando que la privación de sueño en 24 hrs representa una mayor carga fisiológica en un soldado y podría provocar cambios transitorios en la VFC, esto ha sido observado por otros investigadores en el campo deportivo (Bricout, Dechenaud y Favre-Juvin, 2010; Muñoz 2017).

Una correcta prescripción de CE permitirá asociar esta capacidad fisiológica individual, a mecanismos relacionados con liderazgo y toma de decisiones, especialmente para aquellos atributos que un soldado debe tener en situaciones complejas, dinámicas y contradictorias, propias del estrés de operaciones prolongadas en escenarios andinos.

Nuestros datos permitirán complementar los estándares de instrucción y entrenamiento actualmente vigentes en el Ejército de Chile, así como el diseño de procedimientos y técnicas de combate. Al tener un perfil fisiológico del soldado para una acción táctica complementaria como son las marchas invernales nocturnas en distintas altitudes o las inmersiones en hipotermia, permite contar con una disponibilidad permanente, capacidad de respuesta y adaptación a los cambios de un entorno complejo, propios de conflicto moderno.

Las características que presenta el combate moderno, las capacidades militares, medidas cuantitativa y cualitativamente en funciones de combate (maniobra, seguridad, apoyo de fuego

y técnico, inteligencia, guerra electrónica y mando y control) dependen de las capacidades fisiológicas de los soldados y del estrés de sus operaciones prolongadas.

Pensamos que estos hallazgos podrían permitir que el trabajo en los cuarteles generales, es decir, el lugar donde se analiza el campo de batalla y se planifican las operaciones futuras, permitan contar con evidencia del rendimiento que podría tener una unidad bajo las inclemencias de los agentes estresores expuestos ya sea, por la naturaleza misma de las operaciones o bien por las capacidades disponibles en la conducción militar continua, siendo el centro de gravedad de esta (operación en curso) el soldado.

Finalmente, el test propuesto es un hallazgo innovador, no invasivo y con un estándar del soldado chileno. Como fue explicado, la importancia en la estandarización, es que permite contar con un patrón de medida máximo por alcanzar y un mínimo aceptable, permitiendo certificar una competencia de combate y, asimismo, valorar el efecto que tiene la CE sobre la CI en el adiestramiento habitual en soldados de OEs.

VII. CONCLUSIONES

7.1 HIPOTERMIA

1) **Determinar los cambios en las hormonas Testosterona Libre, Testosterona Total y Cortisol en una exposición aguda a hipotermia en agua fría.**

A nivel endocrino, en el presente estudio, se encontraron cambios en las hormonas ACTH y cortisol que aumentan y correlacionan significativamente de forma negativa con el tiempo de exposición al agua fría. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se elevan más en aquellos sujetos que toleran menos tiempo en agua fría, a diferencia de los sujetos que resistieron más tiempo y que tuvieron menores incrementos de éstas hormonas

La hormona testosterona correlaciona significativamente con el agente estresor hipotermia, tanto de forma libre como total y disminuye su concentración sanguínea bajo una condición post hipotermia. Esta condición se refuerza aún más con el cociente testosterona libre/cortisol, donde se observa una marcada y significativa disminución.

2) **Determinar los cambios en algunas células de la serie blanca y serie roja en una exposición aguda a hipotermia en agua fría.**

Se observó que varias células del sistema inmune aumentan su población: Leucocitos, neutrófilos, basófilos, monocitos y plaquetas. Este aumento es estadísticamente significativo en todos los casos.

Desde la perspectiva hematológica, se observó un incremento en el hematocrito, hemoglobina, eritrocitos y un aumento significativo del volumen corpuscular medio.

3) **Relacionar la condición física con la exposición aguda a hipotermia en agua fría.**

En el rendimiento de la condición física, no existe ninguna correlación estadística con el agente estresor hipotermia. Este hallazgo significa que el tener una mejor condición física, muscular y cardio-respiratoria no respalda tener una mayor capacidad de tolerancia con las inmersiones en agua fría.

4) **Relacionar la condición antropométrica con la exposición aguda a hipotermia en agua fría.**

Desde la perspectiva antropométrica se obtiene una correlación significativa entre el porcentaje graso y el tiempo de exposición a la hipotermia. Contar con una mayor adiposidad corporal crea capacidad como aislante térmico, por lo que los sujetos que permanecieron más tiempo en hipotermia tenían un mayor contenido de porcentaje graso, lo que les permitió alcanzar mayores tiempos de exposición en el agua fría.

7.2 HIPOXIA HIPOBÁRICA GRAN ALTITUD

- 1) Determinar los cambios en las hormonas testosterona libre, testosterona total y cortisol, en una exposición aguda a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados en gran altitud.**

La exposición aguda desde los 2800m hasta los 3648m en tropas especiales aclimatadas, provoca en los parámetros endocrinos una reducción significativa del cortisol, testosterona total, testosterona libre y cociente TL-C.

- 2) Determinar los cambios en algunas células de la serie blanca y serie roja en una exposición aguda la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados.**

Se observó un aumento significativo de leucocitos, neutrófilos, monocitos y basófilos y reducción también significativa de eosinófilos y linfocitos.

Con respecto a los parámetros de la serie roja, en eritrocitos, hemoglobina y hematocrito no se observaron cambios tras la marcha, como era de esperar en sujetos con un periodo de aclimatación de 12 semanas. Solamente el volumen corpuscular medio (VCM) tiene un descenso significativo entre los valores Pre y Post.

7.3 HIPOXIA HIPOBÁRICA BAJA ALTITUD

- 1) Determinar los cambios en las hormonas testosterona libre, testosterona total y cortisol, en una exposición a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados.**

Una marcha invernal con equipo de combate, en baja altitud y con un desnivel de 746 m, produce un descenso significativo de los valores plasmáticos de Testosterona (libre y total) en soldados de una unidad de operaciones en montaña.

No se observan cambios en los valores de cortisol.

2) Determinar los cambios en serie roja en una exposición a la hipoxia hipobárica en sujetos aclimatados en baja altitud.

Se detecta una reducción significativa de hematíes, hemoglobina, hematocrito y VCM que podrían deberse a un efecto de hemodilución.

7.4 DIFERENCIAS EN LAS RESPUESTAS EN GRAN ALTITUD Y BAJA ALTITUD

A nivel Endocrino: En el estudio de BA no existieron cambios en el cortisol. En ambos estudios se observó una disminución en el cociente testosterona libre/cortisol.

Desde la perspectiva hematológica: La hemoglobina, hematocrito y hematíes se redujeron en BA pero no cambiaron en GA. Solamente el VCM presentó cambios en ambas exposiciones agudas en BA y GA.

7.5 PRIVACIÓN DE SUEÑO

1) Diferenciar la respuesta de la VFC en una prueba de esfuerzo con y sin privación de sueño en unidades de operaciones especiales en montaña.

- ✓ La FC de trabajo alcanzada al final de la prueba no debe diferir más de un 10% en ambas pruebas (CV=9% para la FC)
- ✓ El estrés simpático inducido por la prueba de esfuerzo (LnSS) debe ser el mismo con y sin privación de sueño, aceptando una diferencia máxima del +15% (CV=15% para el LnSS).
- ✓ La caída de modulación parasimpática (LnRMSSD), inducida por la prueba de esfuerzo debe ser la misma con y sin privación de sueño, aceptando una diferencia máxima de -30% (CV= -29%).

2. Proponer un Test que permita evaluar el efecto de la privación de sueño en una prueba de esfuerzo submaximal en unidades de operaciones especiales en montaña.

Se propone realizar un test incremental de marcha caminando en cinta rodante con 16,5 kg de peso en equipamiento individual de combate. Con 7 estadios de 3 minutos de duración y con pendientes del 1, 3, 5, 7, 8, 9 y 10 % y con una velocidad constante de 5 km/h. Registrar la VFC durante 5 min en posición decúbito dorsal antes del test de marcha (Pre) y justo al finalizar (Post); la primera sesión debe tener lugar sin privación de sueño y al día siguiente, a la misma hora, se debe repetir el procedimiento tras 24 horas de privación de sueño.

VIII. PERSPECTIVAS FUTURAS

PERSPECTIVAS FUTURAS

Contar con una Fuerza de despliegue rápido, organización definida para ejecutar “*operaciones militares de guerra especiales*”, dada sus características de movilidad, polivalencia y capacidad de despliegue en cualquier parte del territorio nacional o en el extranjero requiere de características fisiológicas diferenciadas con el fin de alcanzar objetivos de repercusiones político estratégicas, militares, económicas y de inteligencia que, por su naturaleza, no son susceptibles de obtener por otro tipo de fuerza.

Además, este tipo de Fuerzas, para el territorio chileno deben tener la capacidad de cubrir una zona geográfica determinada de alto valor político estratégico y responder a las tareas asignadas por el mando. En estas zonas geográficas, la presencia del efecto combinado de los agentes estresores hipoxia, privación de sueño e hipotermia obligará a los mandos a tener un conocimiento especial para incrementar la eficiencia en la preparación y alistamiento operacional.

Por lo anterior, se puede deducir que la doctrina matriz prioritariamente deberá orientar a la generación y preparación de Fuerzas, a través de un despliegue de paz; pero, con especial atención a la magnitud, tipo de entrenamiento o perfil fisiológico del combatiente de estas unidades que deban participar y ejecutar, en forma independiente o integrada en operaciones militares de guerra especiales.

Resulta entonces fundamental y pertinente contar con estudios que permitan obtener información directa del desempeño del soldado de este tipo de ambientes geográficos.

Asimismo, nuestros hallazgos podrían sugerir que las líneas de investigación a seguir debieran permitir la valoración del efecto combinado de los agentes estresores que componen esta tesis. El impacto de los agentes estresores de forma combinada podría determinar un área de investigación única por el tipo de entorno en los que participan las tropas del Ejército de Chile.

Asimismo, futuras investigaciones deberían considerar el estudio de la VFC durante el adiestramiento y post-esfuerzo en sesiones específicas de procedimientos de combate. Podría ser interesante estudiar la relación entre la pérdida de variabilidad provocada por la sesión en comparación con valores basales y la CE y programada de estas sesiones. También, utilizar estas cuantificaciones para realizar modelos de prevención de lesiones individualizadas basados en variables de CE, pero incluyendo a la variabilidad como una variable real de CI.

Consecuente con lo anterior, y basados en nuestros datos, podría ser interesante desde una perspectiva futura, añadir a nuestra propuesta, una valoración psicológica con el propósito de identificar el adecuado manejo del estrés en aquellos militares con un buen nivel de estrés simpático.

IX. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Acoltzin-Vidal, C., Rabling-Arellanos, E. E., & Marcial-Gallegos, L. (2010). Diagnóstico de la hipertensión arterial basado en el cálculo de la tensión arterial media. *Revista Mexicana de Cardiología*, 21(3), 99-103.
- 2) Adlercreutz, H., Härkönen, M., Kuoppasalmi, K., Näveri, H., Huhtaniemi, I., Tikkanen, H., & Karvonen, J. (1986). Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 27-28.
- 3) Apa, H., Gözmen, S., Bayram, N., Çatkoglu, A., Devrim, F., Karaarslan, U., & Devrim, I. (2013). Clinical accuracy of tympanic thermometer and noncontact infrared skin thermometer in pediatric practice: an alternative for axillary digital thermometer. *Pediatric Emergency Care*, 29(9), 992-997.
- 4) Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889-919.
- 5) Barnholt, K. E., Hoffman, A. R., Rock, P. B., Muza, S. R., Fulco, C. S., Braun, B., & Friedlander, A. L. (2006). Endocrine responses to acute and chronic high-altitude exposure (4,300 meters): modulating effects of caloric restriction. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(6),
- 6) Bärtsch, P., Saltin, B., & Dvorak, J. (2008). Consensus statement on playing football at different altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18, 96-99.
- 7) Benso, A., Broglio, F., Aimaretti, G., Lucatello, B., Lanfranco, F., Ghigo, E., & Grottoli, S. (2007). Endocrine and metabolic responses to extreme altitude and physical exercise in climbers. *European Journal of Endocrinology*, 157(6), 733-740.
- 8) Bergeron, M. F., Bahr, R., Bärtsch, P., Bourdon, L., Calbet, J. L., Carlsen, K. H., & Engebretsen, L. (2012). International Olympic Committee consensus statement on thermoregulatory and altitude challenges for high-level athletes. *British Journal Of Sports Medicine*, 46(11), 770-779. doi:091296.
- 9) Botella de Maglia, J., & Compte, L. T. (2005). Arterial oxygen saturation at high altitude. A study on unacclimatised mountaineers and mountain dwellers. *Medicina Clinica*, 124(5), 172-176. doi: 10.1157/13071480

- 10) Brazaitis, M., Eimantas, N., Daniuseviciute, L., Mickeviciene, D., Steponaviciute, R., & Skurvydas, A. (2014). Two strategies for response to 14° C cold-water immersion: is there a difference in the response of motor, cognitive, immune and stress markers? *PloS One*, 9(10), e109020. doi:0109020
- 11) Brenner, I. K. M., Castellani, J. W., Gabaree, C., Young, A. J., Zamecnik, J., Shephard, R. J., & Shek, P. N. (1999). Immune changes in humans during cold exposure: effects of prior heating and exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(2), 699-710. doi:87.2.699
- 12) Bricout, V. A., DeChenaud, S., & Favre-Juvin, A. (2010). Analyses of heart rate variability in young soccer players: the effects of sport activity. *Autonomic Neuroscience*, 154(1-2), 112-116. doi:2009.12.001
- 13) Brutsaert, T. D., Araoz, M., Soria, R., Spielvogel, H., & Haas, J. D. (2000). Higher arterial oxygen saturation during submaximal exercise in Bolivian Aymara compared to European sojourners and Europeans born and raised at high altitude. *American Journal of Physical Anthropology*, 113(2), 169-181. doi:10.1002/1096-8644
- 14) Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in Physiology*, 5, 73.
- 15) Cachadiña, E. S., de la Cruz Torres, B., & Orellana, J. N. (2012). Estudio comparativo de los perfiles semanales de creatin kinasa, urea y variabilidad de la frecuencia cardiaca en remeros de élite españoles. *Archivos de Medicina del Deporte*, (152), 952-958.
- 16) Cajigal, V Jorge. (2017) *Fútbol a Gran Altura: Efectos de la exposición inmediata a la altura sobre el consumo máximo de oxígeno y el equilibrio ácido base en jugadores de fútbol profesional aclimatados y no aclimatados* (Tesis Doctoral), Universidad Pablo de Olavide, España.
- 17) Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., & Lombardi, F. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354-381.
- 18) Castellani, J. W., Brenner, I. K., & Rhind, S. G (2002). Cold exposure human immune responses and intracellular cytokine expression. Army Research Inst Of Environmental Medicine Natick Ma. *Medicine Science Sport Exercise*. 2013-2020.

- 19) Clement, D. B., Asmundson, R. C., & Medhurst, C. W. (1977). Hemoglobin values: comparative survey of the 1976 Canadian Olympic team. *Canadian Medical Association Journal*, 117(6), 614.
- 20) Collins, K. J., Dore, C., Exton-Smith, A. N., Fox, R. H., MacDonald, I. C., & Woodward, P. M. (1977). Accidental hypothermia and impaired temperature homeostasis in the elderly. *British Medical Journal*, 1(6057), 353-356.
- 21) Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for behavioral sciences. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2nd.*
- 22) Conkin, J. (2011). PH2O and simulated hypobaric hypoxia. *Aviation, space, and Environmental Medicine*, 82(12), 1157-1158. doi:10.3357/ASEM.3145.2011 [doi]
- 23) Cross, M. C., Radomski, M. W., VanHelder, W. P., Rhind, S. G., & Shephard, R. J. (1996). Endurance exercise with and without a thermal clamp: effects on leukocytes and leukocyte subsets. *Journal of Applied Physiology*, 81(2), 822-829. doi:10.1152/jappl.1996.81.2.822
- 24) Crowley, S. K., Wilkinson, L. L., Burroughs, E. L., Muraca, S. T., Wigfall, L. T., Louis-Nance, T., & Youngstedt, S. D. (2012). Sleep during basic combat training: a qualitative study. *Military Medicine*, 177(7), 823-828. doi:10.7205/MILMED-D-12-00022
- 25) Di Blasio, A, Izzicupo, P., Tacconi, L., Santo Di, S., Leogrande, M., Bucci, I., & Napolitano, G. (2016). Acute and delayed effects of high intensity interval resistance training organization on cortisol and testosterone production. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(3), 192-199.
- 26) Ejército de Chile. (2018a). Historia del Ejército de Chile. Santiago. *Ejercito.cl* Sitio web: <https://www.ejercito.cl/?menu&cid=17>.
- 27) Ejército de Chile. (2018b). Áreas de misión. Santiago. *Ejercito.cl* Sitio web <https://www.ejercito.cl/?menu&cid=151>
- 28) Flatt, A. A., Esco, M. R., Nakamura, F. Y., & Plews, D. J. (2017). Interpreting daily heart rate variability changes in collegiate female soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(6), 907-915. doi:10.23736/S0022-4707.16.06322-2

- 29) Ftaiti, F., Grélot, L., Coudreuse, J. M., & Nicol, C. (2001). Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 84(1-2), 87-94.
- 30) Frank, M. G. (2006). The mystery of sleep function: current perspectives and future directions. *Reviews in the Neurosciences*, 17(4), 375-392. doi:10.1515/revneuro.2006.17.4.375
- 31) Fridén, J., Lieber, R. L., Hargreaves, M., & Urhausen, A. (2003). Recovery after Training–Inflammation, Metabolism, Tissue Repair and Overtraining. *Textbook of Sports Medicine: Basic Science and Clinical Aspects of Sports Injury and Physical Activity*, 189-200. doi:10.1002/9780470757277.ch9
- 32) Goldberger, J. J., Le, F. K., Lahiri, M., Kannankeril, P. J., Ng, J., & Kadish, A. H. (2006). Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 290(6), H2446-H2452. doi:10.1152/ajpheart.01118.2005
- 33) Gonzalez jurado, J. A., De Teresa, C., Molina, E., Guisado, R., & Naranjo, J. (2009). Efecto del Phlebodium Decumanum sobre los cambios en niveles plasmáticos de testosterona y cortisol inducidos por el ejercicio en sujetos no entrenados. *Revista Médica de Chile*, 137(4), 497-503. doi.org/10.4067/S0034-98872009000400007
- 34) Gonzales, G. F. (2011). Hemoglobina y testosterona: importancia en la aclimatación y adaptación a la altura. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(1), 92-100. ISSN 1726-4634.
- 35) Hall, A., Evans, K., & Pribyl, S. (2010). Cold injury in the United States military population: current trends and comparison with past conflicts. *Journal Of Surgical Education*, 67(2), 61-65. doi:10.1016/j.jsurg.2010.02.003.
- 36) Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44(2), 139-147.
- 37) Hangalapura, B. N., Kaiser, M. G., van der Poel, J. J., Parmentier, H. K., & Lamont, S. J. (2006). Cold stress equally enhances in vivo pro-inflammatory cytokine gene expression in chicken lines divergently selected for antibody responses. *Developmental & Comparative Immunology*, 30(5), 503-511. doi:10.1016/j.dci.2005.07.001

- 38) Hanson, H. E., & Goldman, R. F. (1969). Cold injury in man: A review of its etiology and discussion of its prediction. *Military Medicine*, 134(11), 1307-1316. doi:10.1093/milmed/134.11.1307
- 39) Hayes, L. D., Grace, F. M., Baker, J. S., & Sculthorpe, N. (2015). Exercise-induced responses in salivary testosterone, cortisol, and their ratios in men: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(5), 713-726.
- 40) He, J., Cui, J., Wang, R., Gao, L., Gao, X., Yang, L., & Yu, W. (2015). Exposure to hypoxia at high altitude (5380 m) for 1 year induces reversible effects on semen quality and serum reproductive hormone levels in young male adults. *High Altitude Medicine & Biology*, 16(3), 216-222. doi:10.1089/ham.2014.1046
- 41) Heinicke, K., Prommer, N., Cajigal, J., Viola, T., Behn, C., & Schmidt, W. (2003). Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 535-543.
- 42) Heinicke, K., Heinicke, I., Schmidt, W., & Wolfarth, B. (2005). A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26(05), 350-355.
- 43) Heil, K. M., & Keenan, A. M. (2014). Athletic altitude training protocols and their application in preparation for mountainous operations. *Journal Of The Royal Naval Medical Service*, 100(1), 65-69.
- 44) Henning, P. C., Park, B. S., & Kim, J. S. (2011). Physiological decrements during sustained military operational stress. *Military Medicine*, 176(9), 991-997. doi:10.7205/MILMED-D-11-00053
- 45) Hematy, Y., Setorki, M., Razavi, A., & Doudi, M. (2014). Effect of Altitude on some Blood Factors and its Stability after Leaving the Altitude. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 17(9), 1052-1057. doi:10.3923/pjbs.2014.1052.1057
- 46) Herráez, P. S. (2016). Comprender la guerra híbrida...¿ El retorno a los clásicos?. *bie3: Boletín Instituto Español Estudios Estratégicos*, (2), 304-316.
- 47) Hopkins, W. G. (2017a). A spreadsheet for monitoring an individual's changes and trend.21, 5-7.
- 48) Hopkins, W. G. (2017b). Spreadsheets for analysis of controlled trials, crossovers and time series.21, 1-4.

- 49) Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- 50) Huovinen, J., Tulppo, M., Nissilä, J., Linnamo, V., Häkkinen, K., & Kyrolainen, H. (2009). Relationship between heart rate variability and the serum testosterone-to-cortisol ratio during military service. *European Journal of Sport Science*, 9(5), 277-284. doi: 10.1080/17461390902874040
- 51) Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583-592. doi: 10.1080/02640410400021278
- 52) Izawa, S., Kim, K., Akimoto, T., Ahn, N., Lee, H., & Suzuki, K. (2009). Effects of cold environment exposure and cold acclimatization on exercise-induced salivary cortisol response. *Wilderness & Environmental Medicine*, 20(3), 239-243. doi: 10.1580/07-WEME-OR-123R2.1
- 53) Janský, L., Pospíšilová, D., Honzova, S., Uličný, B., Šrámek, P., Zeman, V., & Kaminkova, J. (1996). Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5-6), 445-450.
- 54) Jovanović, M., Sporiš, G., Šopar, J., Harasin, D., & Matika, D. (2012). The effects of basic military training on shooting tasks in conditions of sleep deprivation. *Kinesiology*, 44(1), 169-177.
- 55) Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., & Nummela, A. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 829-838.
- 56) Karnaukhova, N. A., Sergievich, L. A., Ignat'ev, D. A., & Karnaukhov, V. N. (2008). The radioprotective effect of hypothermia on the immune and hematopoietic systems in mammals. *Biofizika*, 53(2), 336-343.
- 57) Karvonen, M., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. In *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae* (Vol. 35, No. 3, p. 307).

- 58) Kehat, I., Shupak, A., Goldenberg, I., & Shoshani, O. (2003). Long-term hematological effects in Special Forces trainees. *Military Medicine*, 168(2), 116-119. doi:10.1093/milmed/168.2.116.
- 59) Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 743-751.
- 60) Klokke, M., Kharazmi, A., Galbo, H., Bygbjerg, I., & Pedersen, B. K. (1993). Influence of in vivo hypobaric hypoxia on function of lymphocytes, neutrocytes, natural killer cells, and cytokines. *Journal of Applied Physiology*, 74(3), 1100-1106. doi:10.1152/jappl.1993.74.3.1100.
- 61) LaVoy, E. C., McFarlin, B. K., & Simpson, R. J. (2011). Immune responses to exercising in a cold environment. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22(4), 343-351. doi:org/10.1016/j.wem.2011.08.005.
- 62) Larsen, J. J., Hansen, J. M., Olsen, N. V., Galbo, H., & Dela, F. (1997). The effect of altitude hypoxia on glucose homeostasis in men. *The Journal of Physiology*, 504(1), 241-249. doi:10.1111/j.1469-7793.1997.241bf.x [doi]
- 63) Li, S., Qiu, C., Shi, W., Huang, Y., & Gui, L. (2016). A Survey of Accidental Hypothermia Knowledge among Navy Members in China and the Implications for Training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), 315. doi:10.3390/ijerph13030315
- 64) Li, X., Huang, W. X., Lu, J. M., Yang, G., Ma, F. L., Lan, Y. T., & Dou, J. T. (2012). Experimental study on neuroendocrinological and immunological characteristics of the military-trained artillery men. *Chinese Medical Journal*, 125(7), 1292-1296.
- 65) Libro de la defensa nacional de Chile 2017a, (Febrero 2018) Santiago, Zenteno N°45; Gráfica Marmot. Pag. 264-267 sitio web: <http://www.defensa.cl/media/LibroDefensa.pdf>
- 66) Libro de la defensa nacional de Chile 2017b, (Febrero 2018) Santiago, Zenteno N°45; Gráfica Marmot. Pag.272, sitio web <http://www.defensa.cl/media/LibroDefensa.pdf>
- 67) Libro de la defensa nacional de Chile 2017c, (Febrero 2018) Santiago, Zenteno N°45; Gráfica Marmot. Pag.73 sitio web, <http://www.defensa.cl/media/LibroDefensa.pdf>.

- 68) López Chicharro, J. and Fernández Vaquero, A. (2006) Fisiología del ejercicio. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 680-681.
- 69) López Chicharro, J. and Fernández Vaquero, A. (2006) Fisiología del ejercicio. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana. 544-572.
- 70) Luks, A. M., Swenson, E. R., & Bärtsch, P. (2017). Acute high-altitude sickness. *European Respiratory Review: An Official Journal Of The European Respiratory Society*, 26(143), doi:10.1183/16000617.0096-2016.
- 71) Luxton, D. D., Greenburg, D., Ryan, J., Niven, A., Wheeler, G., & Mysliwiec, V. (2011). Prevalence and impact of short sleep duration in redeployed OIF soldiers. *Sleep*, 34(9), 1189-1195. doi:org/10.5665/SLEEP.1236
- 72) Manual Ethos del Ejército de Chile, Comando de Educación y Doctrina, División Doctrina (2018) Santiago. *cle.ejercito.cl*. Sitio web: <https://cle.ejercito.cl/pdf/mold-02005%20ethos%20del%20ejercito%20de%20chile%20.pdf>
- 73) Martin, B. J., & Haney, R. (1982). Self-selected exercise intensity is unchanged by sleep loss. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 79-86.
- 74) Martínez, A. C., Calvo, J. S., Marí, J. A. T., Inchaurregui, L. C. A., Orella, E. E., & Biescas, A. P. (2010). Testosterone and cortisol changes in professional basketball players through a season competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 1102-1108. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ce2423
- 75) Matos, B., Howl, J., Ferreira, R., & Fardilha, M. (2018). Exploring the effect of exercise training on testicular function. *European Journal of Applied Physiology*, 1-8.
- 76) Makras, P., Koukoulis, G. N., Bourikas, G., Papatheodorou, G., Bedevis, K., Menounos, P., & Kartalis, G. (2005). Effect of 4 weeks of basic military training on peripheral blood leucocytes and urinary excretion of catecholamines and cortisol. *Journal of Sports Sciences*, 23(8), 825-834. doi:10.1080/02640410400021815
- 77) Meir, R., Brooks, L., & Shield, T. (2003). Body weight and tympanic temperature change in professional rugby league players during night and day games: a study in the field. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 566-572.
- 78) McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fundamentos de Fisiología del Ejercicio, Madrid. Ed. McGraw-Hill-Interamericana, 2004. p. 137.

- 79) McLean, C. J., Booth, C. W., Tattersall, T., & Few, J. D. (1989). The effect of high altitude on saliva aldosterone and glucocorticoid concentrations. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(4), 341-347.
- 80) Michael, S., Graham, K. S., & Davis, G. M. (2017). Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time Intervals—A review. *Frontiers in Physiology*, 8 doi: 10.3389/fphys.2017.00301
- 81) Mora Rodríguez R. Fisiología del deporte y el Ejercicio, Madrid, Ed. Médica Panamericana, 2009. p. 35.
- 82) Morgan III, C. A., Wang, S., Mason, J., Southwick, S. M., Fox, P., Hazlett, G., & Greenfield, G. (2000). Hormone profiles in humans experiencing military survival training. *Biological Psychiatry*, 47(10), 891-901. doi:10.1016/S0006-3223(99)00307-8
- 83) Muñoz, L Alejandro. (2017) *Cuantificación de la carga de entrenamiento en fútbol a través de una escala subjetiva pre-entrenamiento y de la variabilidad de la frecuencia cardíaca* (Tesis Doctoral), Universidad Pablo de Olavide, España.
- 84) Muza, S. R. (2007). Military applications of hypoxic training for high-altitude operations. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 39(9), 1625-1631.
- 85) Mysliwiec, V., McGraw, L., Pierce, R., Smith, P., Trapp, B., & Roth, B. J. (2013). Sleep disorders and associated medical comorbidities in active duty military personnel. *Sleep*, 36(2), 167-174. doi:org/10.5665/sleep.2364
- 86) Naranjo, J. Torres, B. D. L. C., Cachadiña, E. S., de Hoyo, M., & Cobo, S. D. (2015). Two new indexes for the assessment of autonomic balance in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 452-457. doi:10.1123/ijsp.2014-0235
- 87) Naranjo J. El Laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Instrumentación. Protocolos de pruebas de esfuerzo, FEMEDE, Valoración funcional del deportista en el Laboratorio, Barcelona, Esmon publicidad; 2013. p.47.
- 88) Nieto, C., & Cárcamo, M. (2016). Entrenamiento y evaluación de la capacidad física militar: revisión de la literatura. *Revista Española de Educación Física y Deportes: REEFD*, (415), 75-86.

- 89) Nieto, C., Cajigal, J., Vladilo, T., & Naranjo, J. (2018). Impact of hypothermic stress during special operations training of Chilean military forces. *Military Medicine*, 183, (7-8), e193–e199.
- 90) Nieto, C., Cajigal, J., Meiner, E., & Naranjo, J. (2018). Efectos hormonales y hematológicos en una marcha invernal de baja altitud en militares Chilenos. *Archivos de Medicina del Deporte*. En prensa, aceptado el 18-10-2018.
- 91) Nieto, C., Cajigal, J., & Naranjo, J. (2018). Hormonal changes during high-altitude military operations in the Chilean Army. *Archivos de Medicina del Deporte*. En revisión.
- 92) Nieto, C. & Naranjo, J. (2018). Heart rate variability to assess the effect of sleep deprivation in mountain troops of the Chilean Army: A pilot study. *Archivos de Medicina del Deporte*. En revisión.
- 93) Niess, A. M., Fehrenbach, E., Strobel, G., Roecker, K., Schneider, E. M., Buergler, J., & Dickhuth, H. H. (2003). Evaluation of stress responses to interval training at low and moderate altitudes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 263-269.
- 94) O'Hara, R., Henry, A., Serres, J., Russell, D., & Locke, R. (2014). Operational stressors on physical performance in special operators and countermeasures to improve performance: a review of the literature. *Journal Of Special Operations Medicine: A Peer Reviewed Journal For SOF Medical Professionals*, 14(1), 67-78.
- 95) Okumura, A., Fuse, H., Kawauchi, Y., Mizuno, I., & Akashi, T. (2003). Changes in male reproductive function after high altitude mountaineering. *High Altitude Medicine & Biology*, 4(3), 349-353. doi:10.1089/152702903769192304
- 96) Oliver, S. J., Costa, R. J., Laing, S. J., Bilzon, J. L., & Walsh, N. P. (2009). One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, 107(2), 155-161.
- 97) Olsen, O. K., Pallesen, S., Torsheim, T., & Espevik, R. (2016). The effect of sleep deprivation on leadership behaviour in military officers: an experimental study. *Journal Of Sleep Research*. doi:10.1111/jsr.1243.
- 98) Olsen, O. K. (2013). The impact of partial sleep deprivation on military naval officers' ability to anticipate moral and tactical problems in a simulated maritime combat operation. *International Maritime Health*, 64(2), 61-65.

- 99) Perich, P., Tuchtan, L., Bartoli, C., Léonetti, G., & Piercecchi-Marti, M. D. (2016). death from Hypothermia during a Training Course under “extreme Conditions”: Related to Two Cases. *Journal of Forensic Sciences*, 61(2), 562-565. doi: 10.1111/1556-4029.12981
- 100) Peterson, A. L., Goodie, J. L., Satterfield, W. A., & Brim, W. L. (2008). Sleep disturbance during military deployment. *Military Medicine*, 173(3), 230-235. doi: 10.7205/MILMED.173.3.230
- 101) Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., & BarthÉlÉmy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729-1736.
- 102) Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Heart-rate variability and training-intensity distribution in elite rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1026-1032. doi:10.1123/ijsp.2013-0497
- 103) Pottgiesser, T., Ahlgrim, C., Ruthardt, S., Dickhuth, H. H., & Schumacher, Y. O. (2009). Hemoglobin mass after 21 days of conventional altitude training at 1816 m. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 673-675. doi: 10.1016/j.jsams.2008.06.005
- 104) Prommer, N., Ehrmann, U., Schmidt, W., Steinacker, J. M., Radermacher, P., & Muth, C. M. (2007). Total haemoglobin mass and spleen contraction: a study on competitive apnea divers, non-diving athletes and untrained control subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 753-759.
- 105) Rav-Acha, M., Heled, Y., & Moran, D. S. (2004). Cold injuries among Israeli soldiers operating and training in a semiarid zone: a 10-year review. *Military Medicine*, 169(9), 702-706. doi: 10.7205/MILMED.169.9.702
- 106) Reglamento el Ejército, Comando de Educación y Doctrina, División Doctrina (2017) En prensa. disponible en sitio web: <http://www.divdoc.cl>
- 107) Ricardo, J. C., Cartner, L., Oliver, S. J., Laing, S. J., Walters, R., Bilzon, J. L., & Walsh, N. P. (2009). No effect of a 30-h period of sleep deprivation on leukocyte trafficking, neutrophil degranulation and saliva IgA responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 105(3), 499-504.

- 108) Richalet, J. P., Letournel, M., & Souberbielle, J. C. (2010). Effects of high-altitude hypoxia on the hormonal response to hypothalamic factors. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 299(6), R1685-R1692.
- 109) Rietjens, G. J. W. M., Kuipers, H., Hartgens, F., & Keizer, H. A. (2002). Red blood cell profile of elite olympic distance triathletes. A three-year follow-up. *International Journal of Sports Medicine*, 23(06), 391-396. doi: 10.1055/s-2002-33736
- 110) Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2006). The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(5), 302-313. doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00556.x
- 111) Suárez, A. M., Javierre, C., Ventura, J. L., Garrido, E., Barbany, J. R., & Segura, R. (2007). Interindividual plasma cortisol differences in the response to one hour of aerobic exercise with inserted supramaximal workloads. *Apunts Medicina de l'Esport (English Edition)*, 42(153), 7-12.
- 112) Schelling, X., Calleja-González, J., & Terrados, N. (2013). Variación de la testosterona y el cortisol en relación al estado de ánimo en jugadores de baloncesto de élite. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. doi: 10.5232/ricyde, 9(34), 342-359.
- 113) Schumann, M., Botella, J., Karavirta, L., & Häkkinen, K. (2017). Training-Load-Guided vs Standardized Endurance Training in Recreational Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 295-303. doi:/10.1123/ijsp.2016-0093
- 114) Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1366-1373. doi: 10.1249/mss.0b013e318060f17d [doi]
- 115) Sewchand, L. S., Lovlin, R. E., Kinnear, G., & Rowlands, S. (1980). Red blood cell count (RCC) and volume (MCV) of three subjects in a hypobaric chamber. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 51(6), 577-578.
- 116) Solberg, P. A., Paulsen, G., Slaathaug, O. G., Skare, M., Wood, D., Huls, S., & Raastad, T. (2015). Development and implementation of a new physical training

- concept in the Norwegian Navy Special Operations Command. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, S204-S210. doi: 10.1519/JSC.01085 [doi]
- 117) Sutton, J. R., Viol, G. W., Gray, G. W., McFadden, M. U. R. R. A. Y., & Keane, P. M. (1977). Renin, aldosterone, electrolyte, and cortisol responses to hypoxic decompression. *Journal of Applied Physiology*, 43(3), 421-424.
 - 118) Stanley, J., D'Auria, S., & Buchheit, M. (2015). Cardiac parasympathetic activity and race performance: An elite triathlete case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 528-534. doi:10.1123/ijsp.2014-0196 [doi]
 - 119) Tanskanen, M. M., Kyröläinen, H., Uusitalo, A. L., Huovinen, J., Nissilä, J., Kinnunen, H., & Häkkinen, K. (2011). Serum Sex Hormone–Binding Globulin and Cortisol Concentrations are associated with Overreaching during strenuous military training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 787-797. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c1fa5d
 - 120) Tarvainen, M. P., Niskanen, J. P., Lipponen, J. A., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV–heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210-220. doi:10.1016/j.cmpb.2013.07.024
 - 121) Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology Heart rate variability (1996). Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*. 17: 354-381.
 - 122) Thake, C. D., Mian, T., Garnham, A. W., & Mian, R. (2004). Leukocyte counts and neutrophil activity during 4 h of hypocapnic hypoxia equivalent to 4000 m. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(9), 811-817.
 - 123) Traiperm, N., Gatterer, H., & Burtcher, M. (2013). Plasma electrolyte and hematological changes after marathon running in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(6), 1182-1187.
 - 124) Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Takala, T. E., Seppanen, T. H. H. V., & Huikuri, H. V. (1996). Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 271(1), H244-H252. doi: 10.1152/ajpheart.1996.271.1.H244

- 125) Tyyskä, J., Kokko, J., Salonen, M., Koivu, M., & Kyröläinen, H. (2010). Association with physical fitness, serum hormones and sleep during a 15-day military field training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 356-359. doi:10.1016/j.jsams.2009.04.005
- 126) Umeda, T., Takahashi, I., Danjo, K., Matsuzaka, M., & Nakaji, S. (2011). Changes in neutrophil immune functions under different exercise stresses. *Japanese Journal of Hygiene*, 66(3), 533-542.
- 127) Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.* 1995; 20(4), 251-276
- 128) Urdampilleta Otegui, A. (2016). *Eficacia de un programa de entrenamiento interválico de fuerza resistencia en hipoxia intermitente combinado a un plan dietético-nutricional en la preparación integral de alpinistas: Efectos en los parámetros físico-fisiológicos, bioquímicos, hematológicos, rendimiento deportivo y prevención del mal agudo de montaña* (Tesis Doctoral), Universidad de Catalunya, España
- 129) Vasänge-Tuominen, M., Perera-Ivarsson, P., Shen, J., Bohlin, L., & Rolfsen, W. (1994). The fern *Polypodium decumanum*, used in the treatment of psoriasis, and its fatty acid constituents as inhibitors of leukotriene B₄ formation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 50(5), 279-284. doi: 10.1016/0952-3278(94)90167-8
- 130) Vervoorn, C., Vermulst, L. J. M., Boelens-Quist, A. M., Koppeschaar, H. P. F., Erich, W. B. M., Thijssen, J. H. H., & De Vries, W. R. (1992). Seasonal changes in performance and free testosterone: cortisol ratio of elite female rowers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(1), 14-21.
- 131) Vilamitjana, J. El sueño, el deporte y la calidad de vida. (2015) https://www.researchgate.net/profile/javier_vilamitjana3/publication/277405060_el_sueno_el_deporte_y_la_calidad_de_vida/links/556a583908aefcb861d5f50c/el-sueno-el-deporte-y-la-calidad-de-vida.pdf
- 132) Wang, R. Y., Tsai, S. C., Chen, J. J., & Wang, P. S. (2001). The simulation effects of mountain climbing training on selected endocrine responses. *Chinese Journal of Physiology*, 44(1), 13-18.

- 133) Windt, J., & Gabbett, T. J. (2017). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 428-435. doi:10.1136/bjsports-2016-096040
- 134) Winslow, R. M. (2007). Red cell substitutes. In *Seminars in Hematology*, (44)1, 51-59. WB Saunders. doi:10.1053/j.seminhematol.2006.09.013
- 135) WMA Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. 64th WMA General Assembly, Fortaleza, Brazil, October 2013. Sitio web: <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- 136) Woods, D. R., Davison, A., Stacey, M., Smith, C., Hooper, T., Neely, D., & Mellor, A. (2012). The cortisol response to hypobaric hypoxia at rest and post-exercise. *Hormone and Metabolic Research*, 44(4), 302. doi: 10.1055/s-0032-1304322
- 137) Young, A. J., Castellani, J. W., O'Brien, C., Shippee, R. L., Tikuisis, P., Meyer, L. G., & Sawka, M. N. (1998). Exertional fatigue, sleep loss, and negative energy balance increase susceptibility to hypothermia. *Journal Of Applied Physiology*, 85(4), 1210-1217
- 138) Zaccaria, M., Rocco, S., Noventa, D., Varnier, M., & Opocher, G. (1998). Sodium regulating hormones at high altitude: basal and post-exercise levels. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 83(2), 570-574. doi: 10.1210/jcem.83.2.4578
- 139) Zhao, F. Q., Zhang, Z. W., Qu, J. P., Yao, H. D., Li, M., Li, S., & Xu, S. W. (2014). Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs. *Cell Stress and Chaperones*, 19(5), 635-648.

X. ANEXO

APORTACIONES CIENTÍFICAS
DERIVADAS DE LA TESIS
DOCTORAL

ANEXO I: APORTACIONES CIENTÍFICAS DE LA TESIS DOCTORAL

De esta Tesis Doctoral se realizaron las siguientes contribuciones científicas, tanto en conferencias de congresos nacionales e internacionales como con la publicación de tres artículos científicos:

Conferencias en Congresos Nacionales.

- 1) “Entrenamiento militar en condiciones de hipoxia hipobárica”. Expositor; Claudio Nieto. Conferencia en el Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte. Santiago, Agosto de 2017.

Conferencias en Congresos Internacionales.

- 1) “Ejercicio físico en condiciones extremas en militares de Operaciones Especiales del Ejército de Chile”. Expositor; Claudio Nieto. Conferencia en el XVII Congreso internacional de la sociedad Española de Medicina del Deporte. Noviembre de 2018

Publicaciones en Revistas Científicas

- 1) Nieto Jimenez, C., Cajigal Vargas, J., Vladilo, T., Sofia, V., & Naranjo Orellana, J. (2018). Impact of Hypothermic Stress During Special Operations Training of Chilean Military Forces. *Military Medicine*, Volume 183, Issue 7-8, 1 July 2018, Pages e193–e199, <https://doi.org/10.1093/milmed/usx131>
- 2) Nieto, C., Cajigal, J., Mainer, E., & Naranjo, J. (2018). Efectos hormonales y hematológicos en una marcha invernal de baja altitud en militares Chilenos. *Archivos de Medicina del Deporte*. En prensa, aceptado el 18-10-2018.
- 3) Nieto, C., Cajigal, J., & Naranjo, J. (2018). Hormonal changes during high-altitude military operations in the Chilean Army. *Archivos de Medicina del Deporte*. En revisión.
- 4) Nieto, C. & Naranjo, J. (2018). Heart rate variability to assess the effect of sleep deprivation in mountain troops of the Chilean Army: A pilot study. *Archivos de Medicina del Deporte*. En revisión.
- 5) Nieto, C., & Cárcamo, M. (2016). Entrenamiento y evaluación de la capacidad física militar: Revisión de la literatura. *Revista Española de Educación Física y Deportes: REEFD*, (415), 75-86.